

**EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO *Dominico Hartón* Y SÍNTESIS DE
BIOPOLÍMEROS PARA LA EVALUACIÓN DE SU COMPORTAMIENTO EN
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y AL AGUA**

CAMILO ANDRÉS MANTILLA PORRAS

**Trabajo de investigación presentado para optar al título de
Ingeniero Ambiental**

**UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
TRABAJO DE GRADO
EI SOCORRO
2021**

**EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO *Dominico Hartón* Y SÍNTESIS DE
BIOPOLÍMEROS PARA LA EVALUACIÓN DE SU COMPORTAMIENTO EN
PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y AL AGUA**

CAMILO ANDRÉS MANTILLA PORRAS

Directora de tesis

MARIA DEL PILAR GUAUQUE TORRES

Química, Doctora en ciencia y tecnología de los materiales

Co-Director

EDGAR QUINTANILLA PIÑA

Ingeniero Metalúrgico, Magister en sistemas energéticos avanzados

UNIVERSIDAD LIBRE

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE GRADO

EI SOCORRO

2021

DEDICATORIA

Este trabajo de grado está dedicado a mi familia que siempre me apoyó para seguir adelante, gracias a ellos por infundirme valores y darme la formación que tengo que me convirtió en la persona que soy ahora, y que a pesar de todos los problemas que he generado me siguen apoyando y confió en Dios que lo seguirán haciendo, no me alcanzaran la vida para pagarles todo lo que me han dado.

Camilo Andrés Mantilla Porras.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por haberme traído hasta este punto para alcanzar esta meta. Agradezco también a la Doctora María Del Pilar Guauque Torres por el acompañamiento y el apoyo incondicional que realizó durante todo este largo proceso, al Ingeniero Edgar Quintanilla Piña por el apoyo ofrecido y el acompañamiento durante la realización de los ensayos y pruebas, a todos los auxiliares de laboratorio que de alguna manera intervinieron en el desarrollo del proyecto. Agradecimientos infinitos también a mis amigos, que en todo momento estuvieron al pendiente del desarrollo de mi proyecto apoyándome y dándome ánimo, sin todos ellos esto nunca se hubiera podido lograr, muchas gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
1 INTRODUCCIÓN.....	12
2 PROBLEMA.....	13
2.1 Descripción.....	13
3 JUSTIFICACIÓN.....	15
4 ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO	16
4.1 Objetivos:	16
4.1.1 General	16
4.1.2 Específicos	16
5 MARCO TEÓRICO.....	17
5.1 Residuos sólidos.....	17
5.2 Polímeros.....	17
5.3 Biopolímeros	18
5.4 Antioxidante.....	18
5.5 Almidón	19
5.6 Almidones termoplásticos:	20
5.7 Plátano	22
5.8 Almidón de plátano.....	23
5.9 Ensayo de tracción.....	25
5.10 Ensayo de resistencia al agua.....	27
6 ANTECEDENTES	28
7 METODOLOGIA.....	30
7.1 Tipo y alcance de la investigación	30
7.2 Población y muestra.....	30
7.3 Localización del proyecto	31
7.4 Variables seleccionadas.....	31
7.5 Equipos, instrumentos y materiales.....	32
7.5.1 Equipos:.....	33
7.5.2 Instrumentos:	38

7.5.3	Materiales y reactivos:	38
7.6	Procedimiento	39
7.7	Hipótesis	40
8	RESULTADOS Y DISCUSIONES	41
8.1	Identificación del método de extracción del almidón	42
8.1.1	Método seleccionado:.....	42
8.2	Resultados extracción de almidón	45
8.3	Selección de probeta	49
8.4	Resultados síntesis biopolímeros	50
8.5	Resultado ensayos de tracción	52
8.5.1	Resultados ensayo de tracción para la muestra sin antioxidante.....	55
8.5.2	Resultados ensayo de tracción para la muestra con 4,9 % (p/p) de antioxidante....	56
8.5.3	Resultados ensayo de tracción para la muestra con 9,8 % (p/p) de antioxidante....	57
8.5.4	Resultados ensayo de tracción para la muestra con 14,5 % (p/p) de antioxidante..	57
8.6	RESISTENCIA A LA ABSORCION DE AGUA	62
8.6.1	Resultados prueba de resistencia a la absorción de agua para la muestra sin antioxidante	65
8.6.2	Resultados prueba de resistencia a la absorción de agua para la muestra con 4,9 % (p/p) de antioxidante	65
8.6.3	Resultados prueba de resistencia a la absorción de agua para la muestra con 9,8 % (p/p) de antioxidante	66
8.6.4	Resultados prueba de resistencia a la absorción de agua para la muestra con 14,5 % (p/p) de antioxidante.	66
8.7.	Análisis de correlación	71
8.8.	generalizaciones	74
9	CONCLUSIONES.....	76
10	RECOMENDACIONES.....	77
11	BIBLIOGRAFIA.....	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Variables analizadas de los racimos de plátano en el estudio.....	23
Tabla 2: Análisis proximal de diferentes fuentes de harina y almidón.....	24
Tabla 3: Características de la harina y el almidón de plátano.....	25
Tabla 4: Variables seleccionadas para el desarrollo del proyecto.....	32
Tabla 5: Resultados extracción de almidón.....	46
Tabla 6: Promedio de extracción de almidón.....	47
Tabla 7: Resultados preparación biopolímeros	50
Tabla 8: Resultados ensayo de tracción pruebas sin antioxidante	56
Tabla 9: Resultados ensayo de tracción pruebas con 4,9% (p/p) de antioxidante .	56
Tabla 10: Resultados ensayo de tracción pruebas con 9,8 % (p/p) de antioxidante	57
Tabla 11: Resultados ensayo de tracción pruebas con 14,5 % (p/p) de antioxidante	57
Tabla 12: Promedios totales agrupados según composición.....	58
Tabla 13: Resultados prueba de absorción de agua muestras sin antioxidante	65
Tabla 14: Resultados prueba de absorción de agua muestras con 4,9 % (p/p) de antioxidante.....	65
Tabla 15: Resultados prueba de absorción de agua muestras con 9,8 % (p/p) de antioxidante.....	66
Tabla 16: Resultado prueba de absorción de agua muestras con 14,5 % (p/p) de antioxidante.....	66
Tabla 17: Promedios totales de las pruebas de resistencia al agua	67
Tabla 18: Promedios resultados obtenidos según cantidad de almidón.....	72
Tabla 19: Correlación según la cantidad de almidón.....	73
Tabla 20: Promedio resultados según cantidad de antioxidante.....	74
Tabla 21: Correlación según la cantidad de antioxidante.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de probeta	26
Figura 2: Tabla de medidas de los tipos de probetas	277
Figura 3: Ubicación parcela donde se tomaron los platanos.....	31
Figura 4: Máquina universal de ensayos	33
Figura 5: Diagrama mecánico de la máquina universal de ensayos.....	34
Figura 6: Horno de secado eléctrico	35
Figura 7: Balanza electrónica de alta precisión	36
Figura 8: Plancha de calentamiento	37
Figura 9: Horno de secado.....	38
Figura 10: Plátano Dominico Harton en desinfección.....	41
Figura 11: Plátano rallado sin antioxidante y con antioxidante	42
Figura 12: Filtración del almidón de plátano	43
Figura 13: Decantación, pulverización y almidón final empacado.....	44
Figura 14: Gráfico de porcentaje de rendimiento de almidón – Cantidad de antioxidante utilizado	48
Figura 15: Medidas de la probeta utilizada.....	49
Figura 16: Probeta del biopolímero sintetizado	49
Figura 17: Extracción de las probetas.....	51
Figura 18: Manómetro de la máquina universal de ensayos.....	52
Figura 19: Calibrador digital funcionando.	54
Figura 20: Ensayo de resistencia a la tracción.	55
Figura 21: Grafica de tensión aplicada (kPa) – Antioxidante (% p/p)	60
Figura 22: Grafica de Tensión aplicada (KPa) – Cantidad de NaOH (% v/v)	61
Figura 23: Grafica comparativa entre almidón, antioxidante y tensión aplicada	62
Figura 24: Prueba de absorción de agua.	63
Figura 25: Probetas listas para fase de secado	64

Figura 26: Grafico de incremento en masa (%) – Antioxidante (% p/p)	69
Figura 27: Grafico de incremento en masa (%) – Cantidad de NaOH (% v/v)	69
Figura 28: Grafico comparativo entre Almidón, Antioxidante e incremento en masa	70

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula para la obtención del porcentaje de rendimiento de almidón	45
Ecuación 2: Formula para la obtención del antioxidante en % p/p.....	45
Ecuación 3: Fórmula para convertir unidades PSI a kPa para la muestra 1	522
Ecuación 4: Fórmula de módulo de elasticidad	533
Ecuación 5: Fórmula para determinar el porcentaje de cambio de masa.....	644

RESUMEN

Los polímeros derivados del petróleo tienen tiempos de degradación elevados que generan problemas de contaminación tanto en el suelo como en el agua. Ello ha motivado la búsqueda de alternativas poliméricas biodegradables que reduzcan dicho impacto ambiental. Una de las posibles alternativas es la síntesis de biopolímeros a partir de almidones.

En el presente trabajo se buscó sintetizar un biopolímero a partir de almidón de plátano para estandarizar un método de extracción y síntesis.

En primer lugar, se determinó la cantidad de almidón extraído del plátano *Dominico Hartón* cambiando la cantidad de antioxidante usado en el proceso. En segundo lugar, se sintetizó una película de biopolímero a partir del almidón extraído cambiando la cantidad de almidón usado para la síntesis. Finalmente se evaluó la resistencia a la tracción y a sustancias líquidas de las películas sintetizadas.

El biopolímero que presentó las mejores características mecánicas de resistencia a la tracción y absorción de agua fue el sintetizado a partir de 9,8 % (p/p) de antioxidante, 69,4 % (v/v) de agua, 8,3 % (v/v) de ácido clorhídrico concentrado al 0,1 N, 5,5 % (v/v) de glicerina diluida al 50%, realizando baño maría por 10 minutos a 68°C, después de esto adicionar 16,6% (v/v) de hidróxido de sodio al 0,1 N.

Palabras clave:

CONTAMINACION, DESPERDICIO, GELATINIZACION, PETROLEO, POLIMERO, RELLENO SANITARIO, TERMOPLASTICO.

1 INTRODUCCIÓN

El plástico es uno de los materiales más utilizados por el hombre debido a la gran cantidad de usos que puede tener para satisfacer múltiples necesidades, pero al ser un derivado del petróleo produce un alto impacto ambiental por su uso excesivo y largo tiempo de degradación que sobrepasa los 100 años en ambientes naturales. Por lo tanto, se han buscado soluciones que disminuyan el impacto ambiental de dichos materiales como el reciclaje o la síntesis de nuevos polímeros (plásticos) a partir de fuentes biodegradables.

Dentro de las posibles fuentes biodegradables para la síntesis de nuevos polímeros se encuentran los almidones de yuca, plátano, maíz o papa. Colombia es un país agricultor por excelencia gracias a su ubicación en la zona ecuatorial con un clima templado que le permite producir una gran variedad de frutos tropicales. El segundo producto más cultivado en el país es el plátano y en Santander se produce el 3.37% del total, es decir, alrededor de 145.000 toneladas al año, las cuales en su mayoría son comercializadas en el mismo departamento, y cuando no se logran vender se deja perder el producto (MinAgricultura, 2017).

Ante estas dos problemáticas planteadas en la región como lo son la pérdida de la cosecha de plátano y el impacto ambiental asociado a los polímeros surge la presente propuesta de trabajo que es la síntesis de biopolímeros a partir de la biomasa (cáscara y pulpa) del plátano. Se propuso la extracción de almidón de plátano usando el método de extracción húmeda para obtener el almidón puro y a partir de él fabricar láminas de biopolímero (Hernández-Carmona, Morales-Matos, Lambis-Miranda, & Pasqualino, 2017). En éste proyecto se buscó darle un uso diferente al plátano e iniciar un proyecto para generar un biopolímero que se degrade en menor tiempo y no provenga de derivados del petróleo. De esta manera se podrían mitigar problemas como la sobrepresión de los rellenos sanitarios, ya que la biodegradación de los biopolímeros así sintetizados se produciría en un menor tiempo, aumentando el tiempo de uso de los rellenos.

2 PROBLEMA

2.1 Descripción

El presente trabajo trata de apuntar a dos problemáticas puntuales que se describen a continuación:

Uno de los grandes problemas actuales en el planeta es el uso de materiales poliméricos derivados del petróleo, ya que desde 1955 hasta la actualidad se han producido aproximadamente 8.300 millones de toneladas de este material y solo en los últimos 18 años se generó el 70% de esa cantidad (Geyer, Jambeck, & Law, 2017). El problema radica en que la gran mayoría de plásticos que se generan son empaques que solo se usan una vez y después son desechados. Además, estos residuos son llevados a rellenos sanitarios en donde su alto tiempo de descomposición ha generado sobrepresión en los mismos al tiempo que el problema se ha extendido al océano (Geyer et al., 2017).

Producir un biopolímero que tenga las mismas propiedades de un plástico generado a partir de derivados del petróleo pero que su biodegradación sea en un menor tiempo y no altere su entorno es una labor difícil, primero se debe encontrar un material adecuado del cual se pueda extraer lo necesario para la fabricación después de esto, se deben encontrar los aditivos correctos que ayuden al mejoramiento de las características físicas y mecánicas del biopolímero generado, pero que al momento de su descomposición generen un menor impacto en el medio ambiente

El segundo punto a abordar en la presente investigación tiene que ver con la inadecuada tecnificación y manejo del plátano como producto para exportación durante su cosecha que genera grandes cantidades de desechos que contienen principalmente frutos inmaduros y frutos con daños por golpes. Cuando esto sucede y el fruto no cumple los estándares de exportación los agricultores lo usan para

consumo propio, como alimento a los animales de granja o dispuesto al aire libre lo cual genera atracción de vectores y producción de lixiviados que arremeten contra la calidad hídrica superficial y subterránea y la calidad de los suelos (Banatura, 2003, p. 38).

3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la contaminación ambiental es uno de los temas más importantes que el planeta tierra está abordando, ésta investigación se enfoca principalmente en los plásticos derivados de combustibles fósiles, un ejemplo particular sería una bolsa común de único uso la cual tarda en degradarse en condiciones naturales alrededor de 150 años (Gómez, 1997), aparte de eso genera impactos negativos en su lugar de descomposición, por eso se busca una solución que reduzca el impacto ambiental generado por dichas bolsas produciendo biopolímeros a partir de almidones con características mecánicas similares para que a futuro puedan ser reemplazadas.

Por otra parte, las bolsas de polímeros sintéticos provienen del petróleo que es un recurso no renovable, mientras que estos almidones se pueden extraer de materias primas renovables lo cual ayudará en gran medida para su producción a futuro, además buscando que se reduzcan los elevados tiempos de degradación y no genere efectos secundarios dañinos para el medio ambiente.

En el año 1930 se empezó a exportar las diferentes frutas tropicales que se producen en Colombia, el plátano ha sido uno de los productos con mayor demanda, pero los requisitos que debe cumplir para ser enviado al exterior son muy altos. Por lo cual una gran parte de la producción es desechada, desperdiciando así su potencial para producción de subproductos como el alcohol carburante o el almidón de plátano para la síntesis de biopolímeros (Afanador, 2005). Teniendo en cuenta este porcentaje de rechazo, se plantea una alternativa de aprovechamiento del almidón de plátano, sintetizando biopolímeros para estudio y caracterización de sus propiedades mecánicas y de absorción de agua. De esta forma, se pretende disminuir los tiempos de degradación de los polímeros y minimizar los efectos secundarios luego de su descomposición en ambiente natural.

4 ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

4.1 Objetivos:

4.1.1 General

Evaluar el comportamiento mecánico de biopolímeros sintetizados a partir de almidón de plátano con diferentes cantidades de antioxidante.

4.1.2 Específicos

- Identificar el porcentaje de rendimiento de almidón de plátano extraído en diferentes cantidades de antioxidante.
- Determinar una composición óptima para la fabricación del biopolímero que maximice la resistencia a la tracción y al agua, teniendo en cuenta diferentes cantidades de antioxidante.
- Cuantificar la resistencia a la tracción y al agua en biopolímeros sintetizados a partir de almidón de plátano.

5 MARCO TEÓRICO

5.1 Residuos sólidos

Los residuos sólidos son materiales originados por el hombre como desechos de diversas funciones. Después de que estos cumplen su objetivo, el cual normalmente es un ciclo corto, son desechados, y la forma y lugar en que ello ocurre determina en gran medida el impacto ambiental asociado a cada material (Lebreton et al., 2018). El hombre genera los residuos más peligrosos para el medio ambiente ya que muchos de ellos ocasionan un impacto negativo y prolongado en el entorno, esto debido a la naturaleza físico-química de los desechos producidos, debido a esto pueden llegar a durar cien años o más y al descomponerse cambian las características químicas del suelo (Gómez, 1997), convirtiendo los lugares de disposición final en zonas áridas. Cuando se disponen los residuos en el océano su impacto negativo es aún mayor ya que la fauna marina suele ingerir dichos desechos produciéndole la muerte. Hasta el momento se calcula que en el océano hay alrededor de 79.000 toneladas de plástico flotando a la deriva lejos de cualquier continente, generando muertes en la fauna marina y produciendo cambios en los ecosistemas (Lebreton et al., 2018).

5.2 Polímeros

Los polímeros son enormes moléculas orgánicas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de unidades más pequeñas llamadas monómeros. Los polímeros naturales más comunes son el almidón y el ADN, y un ejemplo de polímeros sintéticos son el nailon y el polietileno. La degradación es cualquier cambio que el material sufra en sus propiedades físicas, químicas y/o mecánicas que lo lleven a un estado de reducción permitiendo que se oxiden sus moléculas para realizar la descomposición (Posada Bustamante, Beatriz, 2012). La degradación ambiental es el método más común de reducir los polímeros ya que son llevados a rellenos sanitarios donde se espera que por medio del efecto combinado de la luz, el calor, el oxígeno, la lluvia, los microorganismos, la

contaminación química y largos periodos de tiempo estos materiales se desintegren. Sin embargo, su biodegradación se dificulta ya que los microorganismos aún no se adaptan para romper las largas cadenas que los componen, de esto se deriva su excesiva duración (Posada, 2012).

5.3 Biopolímeros

El desarrollo de los polímeros sintéticos derivados del petróleo es uno de los mayores avances de la humanidad en el siglo XX, ya que se convirtió en un material de uso cotidiano que se va adaptando a las diferentes necesidades de las personas. Sin embargo, sus grandes ventajas a su vez son su mayor problema, ya que su resistencia a la corrosión, al agua y la descomposición bacteriana hacen que los tiempos de degradación sean excesivamente altos generando así una gran acumulación de estos. La mejor alternativa planteada son los biopolímeros provenientes de recursos renovables y con una alta biodegradabilidad como lo son los biopolímeros naturales modificados en laboratorio del tipo almidón y celulosa (Valero-Valdivieso, Ortegon, & Uscategui, 2013)

Es posible obtener biopolímeros a partir de biomasa (almidón) de tubérculos como papa, yuca, trigo y maíz, realizando un adecuado proceso de fabricación pueden llegar a tener diferentes propiedades y características tales como: impermeabilidad a los gases, aislamiento térmico y resistencia mecánica similares a las obtenidas para los polímeros derivados de petróleo (López, 2015).

5.4 Antioxidante

Es una molécula que retrasa o evita la oxidación de otras moléculas por medio de una reacción química en la cual se transfieren electrones de una sustancia a un agente oxidante. Evitan la oxidación rompiendo enlaces intermedios mientras reaccionan y se oxidan ellos mismos. Es una reacción indeseada en la industria alimentaria ya que genera el pardeamiento de la fruta o verdura. Por lo general el plátano verde Hartón se oxida en cuestión de horas y para evitar esto se han

buscado diferentes soluciones como lo son: desinfección y refrigeración, o inmersión en antioxidante y empaçado al vacío. La inmersión del plátano verde en ácido cítrico genera variaciones en su pH que oscilan entre 4,99 y 5,75 pero este es el antioxidante que mejores resultados ofrece ya que retrasa el pardeamiento hasta por 21 días en condiciones normales de temperatura y humedad relativa (Dussán-Sarria, Gaona-Acevedo, & Hleap-Zapata, 2017).

5.5 Almidón

El almidón es la principal reserva de energía de la mayoría de los vegetales y la principal fuente de calorías para el consumo humano, es muy importante en la constitución de los alimentos que lo poseen, su alto valor nutricional también se ve reflejado en su uso tecnológico, se viene usando desde la antigüedad donde se les aplicaba a los papiros para que se conservaran por mayor tiempo. Está compuesto por amilosa y amilopectina en proporciones del 30% y el 70% respectivamente, generalmente el almidón es insoluble en agua fría, pero al elevar la temperatura por encima de los 70 °C se rompe la estructura de la amilosa hidratándola y generando un proceso de gelatinización (Calvo, 2003).

En la gelatinización la estructura del grano se empieza a romper y a absorber el agua, si la temperatura se mantiene constante la absorción de agua se incrementa, produciendo una pasta o gel que contiene cadenas de amilosa altamente hidratadas que tienden a solidificarse. El tiempo y la temperatura en el que sucede este cambio varían dependiendo del tipo de almidón usado (Cerrón, 2017).

Posterior a la gelatinización, ocurre el proceso de retrogradación que empieza con la fase de enfriamiento y continúa con el incremento en la viscosidad. Es un proceso irreversible y se define como la insolubilización y precipitación de las moléculas de amilosa unidas por puentes de hidrogeno y esto varía según el origen del almidón (Cerrón, 2017). En esta parte del proceso, ocurre una reorganización de las interacciones débiles que disminuye la solubilidad en agua fría y aumenta la turbidez (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007)

Un parámetro muy importante a tener en cuenta es la temperatura de transición vítrea que determina el rango de temperatura en donde se usa el material. Este parámetro se determina cuando se incrementa la temperatura generando que las moléculas pierdan organización, y se permite el enfriamiento moderado de la estructura que genera una forma cristalina de los gránulos produciendo cambios irreversibles. Durante el enfriamiento del gel de almidón la amilosa genera áreas semicristalinas debido a la retrogradación mientras que la amilopectina constituye la fase amorfa, estas estructuras combinadas tendrán mayor transición vítrea que la esperada para el almidón fresco (Mosquera, Arias, Jimenez, Lopez, & Osorio, 2015)

5.6 Almidones termoplásticos:

Si bien el almidón natural como materia prima para la síntesis de biopolímeros es muy interesante, su alta hidrofiliidad compromete las propiedades y usos a largo plazo del material. Es por ello, que se plantean en la bibliografía múltiples modificaciones para generar un almidón termoplástico resistente o TPS por sus siglas en inglés thermoplastic starch.

El TPS es un material que a altas temperaturas se vuelve deformable o flexible, se derrite cuando se calienta y al enfriarse pasa por un estado de transición vítrea hasta endurecerse, a diferencia de los polímeros termoestables, ellos no se queman o se funden al ser sometidos a altas temperaturas (siempre y cuando no se aproxime a su temperatura de fusión). El comportamiento elástico varía dependiendo de los enlaces de carbono en la cadena principal, ya que, al ser expuestos a tensiones altas, las cadenas se pueden deformar un poco perdiendo su forma original y tardando en regresar a ella. Del mismo modo su comportamiento plástico se puede ver afectado en estos ensayos de tensión que pueden deslizar las cadenas unas sobre otras rompiendo los enlaces y haciendo que el polímero se deforme de manera permanente (Unidad 15. Materiales Poliméricos y Compuestos, 2020).

Para poder procesar el almidón se debe reorganizar su estructura y para esto se le debe adicionar agua o glicerol que son los plastificantes más comunes, además de

esto se debe producir un incremento en la temperatura para generar el proceso de termoplastificación. Aumentando las concentraciones de agua y plastificante (glicerol), las propiedades viscoelásticas cambian, el esfuerzo disminuye y la elongación aumentan, esto se produce debido a la presencia de grupos hidroxilo (OH) en el almidón, lo cual afecta la calidad del bioplástico (Villada & Acosta, 2011).

La verificación del proceso de plastificación se realiza por medio de un seguimiento continuo a las estructuras de los termoplásticos obtenidos, con plastificantes solos o mezclados, también se estudian los cambios mecánicos y térmicos en función de la composición y diferentes condiciones de almacenamiento. En este tiempo la cantidad de plastificante disminuye cambiando sus propiedades mecánicas (el esfuerzo aumenta y la elongación disminuye), la permeabilidad de gases se estudia según el tipo de plastificante usado, la permeabilidad es directamente proporcional a la concentración de plastificante (Villada & Acosta, 2011).

En cuanto al procedimiento, las condiciones determinan propiedades finales de importancia para la aplicación de los biopolímeros. Ruiz (2005) obtuvo un biopolímero de almidón de yuca con secado a 120 °C, temperatura óptima de cocción de 50 °C y 6,5 minutos de mezclado, el lubricante externo fue inferior a 1% de la cantidad depositada en el contenedor ya que puede afectar la mezcla. Los espesores de banda con los cuales se obtuvo una mezcla homogénea están entre 0.5 y 1.0 mm, con espesores mayores el mezclado es irregular y los espaguetis obtenidos en el proceso de extrusión posterior, no son uniformes y presentan anomalías de flujo y en otros casos no es posible procesar el polímero por extrusión.

La inclusión de aditivos al plástico es importante, ya que mejora sus propiedades. Por esto es fundamental en el momento de adicionar cualquier tipo de reactivo al plástico tener en cuenta su composición, su toxicidad y de ser posible su degradabilidad, los reactivos más comúnmente usados son la glicerina como plastificante y el cloruro de sodio (NaCl) para mejorar transparencia del biopolímero. La base fundamental del polímero es ser biodegradable y ambientalmente

asimilable, para reducir impactos ecológicos evitando acabar con microorganismos que ayuden a este proceso (Meneses et al., 2007).

5.7 Plátano

El plátano en Colombia se cultiva en todo el territorio nacional, desde el nivel del mar hasta los 2000 m.s.n.m., por esto es considerado uno de los productos con mayor importancia socioeconómica y es uno de los principales generadores de empleo en el campo colombiano. En el año 2011 el 87% de este cultivo estaba asociado con otros productos del campo colombiano como el café y solo el 13% como monocultivo tecnificado (Corpoica, 2016). Existen alrededor de 30 variedades de musáceas de cocción (plátano) cultivadas en el país. Las zonas productoras de estos tipos de plátanos se encuentran en la zona andina y esta contribuye con el 50% de la producción nacional. Las características físicas (tamaño y grosor) dependen principalmente del estrés hídrico durante su desarrollo (Corpoica, 2016).

En Colombia a pesar de su alta producción es uno de los países con menor consumo de plátano ya que solo se consume alrededor de 160 gramos al día mientras que en Ecuador se está consumiendo el doble de esta cantidad (Castellanos Galeano, Carlos, & Aguirre, 2011).

En la tabla 1 se puede observar características como el número de manos que se encuentran en un racimo, la cantidad de plátanos por mano (dedos), la cantidad de plátanos en la fila superior o fila “A” en la fila “B” y el peso total de los racimos de las diferentes familias de plátanos producidas en Colombia, en el cual se muestra que las especies o familias híbridas FH20 y FH21 tienen los mayores pesos, y que la familia Dominico Hartón posee también características muy buenas a pesar de padecer estrés hídrico.

Tabla 1: Variables analizadas de los racimos de plátano en el estudio de castellanos

Variables	Cachaco		FH20		FH21		Dom. Hartón		Cubano Blanco		Hartón	
	P.	D.E.	P.	D.E.	P.	D.E.	P.	D.E.	P.	D.E.	P.	D.E.
peso racimo (kg)	19	19	26	2.7	20	4.6	19	2.5	16	1	17	0.7
Manos	6	0.6	7	0.6	5	2.1	8	1.2	10	0.6	7	0.6
Dedos	69	1	96	15.7	60	22.6	62	5.5	66	4.5	41	9.2
Dedos fila A*	41	1	55	7.2	36	14.6	42	2.9	47	3.6	29	5.7
Proporción dedos fila A (%)	59	1.2	58	2.6	59	2.8	69	2.6	72	1.2	71	10.3
Dedos fila B*	28	1	41	9	25	7.8	19	3.2	19	1.2	12	5.5
Proporción dedos fila B (%)	41	1.2	42	2.6	41	2.8	31	2.6	29	1.5	29	10.6

A*: Corresponde a la fila exterior del racimo. B*: Corresponde a la fila interior del racimo

P: Promedio. D.E. Desviación estándar.

Fuente: (Castellanos, 2011)

5.8 Almidón de plátano

En los plátanos y bananos el almidón es la principal fuente de Carbono, las amilasas permiten que ese almidón se convierta en azúcares en el proceso de maduración. En los últimos años se han publicado muchos estudios acerca de la pulpa del plátano y del banano sobre sus estructuras fisicoquímicas y su funcionalidad, estos estudios se han dado gracias a las grandes cantidades de fruta que son rechazados en la industria exportadora ya que la fruta se encuentra por debajo del estándar de calidad que dichas empresas exigen, ya sea por poseer defectos en la piel que ocupen un 20%.

El almidón de musáceas aparentemente es igual de funcional que el almidón de maíz, y es aceptable ya que no posee ningún sabor y esto lo hace diferente de los almidones de otras plantas.

Por ejemplo, en una investigación llevada a cabo anteriormente se caracterizó el almidón de plátano obtenido del cultivo en la finca La Lucia ubicada en el municipio de Armenia en el departamento del Quindío, bajo las siguientes condiciones: 1100 m.s.n.m., con una temperatura media de 21,9 °C y una humedad relativa del 85%, en un proceso agrícola empírico, se contrastó contra otros almidones como lo fue el de yuca y los resultados de investigaciones anteriores (Montoya, Quintero, & Lucas, 2014).

Como se puede observar en la tabla 2, la composición química de la harina y el almidón obtenido de la variedad *Dominico Hartón* es baja con respecto a los demás resultados reportados, pero de igual forma al poseer una menor cantidad de lípidos permite una gelatinización más fácil ya que no reprime el hinchamiento y la solubilización de los gránulos de almidón, por esta razón no se necesitan temperaturas altas para que se rompan las moléculas del almidón (Montoya et al., 2014).

Tabla 2: Análisis proximal de diferentes fuentes de harina y almidón

Producto variable	Harina de plátano 1	Harina de maíz	Harina de yuca	Harina de plátano 2	Almidón de yuca	Almidón de plátano
Humedad (%)	9.45	11.6	8.5	7.43	8.47	9.26
Ceniza (%)	2.1	3.8	5.2	2.43	0.15	0.12
Proteína (%)	3.32	11	4.4	2.57	0.6	0.62
Lípidos (%)	2.45	7.7	0.7	0.2	0.31	0.14
Fibra (%)	1.65	6.4	5.2	ND	0.04	0.14

Harina de plátano 1: Musa paradisiaca. Harina de plátano 2: Dominico Hartón. ND: No determinado

Fuente: (Montoya et al., 2014)

En la tabla 3 se puede observar las propiedades de empastamiento de la harina y almidón de plátano en paralelo para realizar una comparación más fácil, cuando el almidón llega a la temperatura de hinchamiento los gránulos se rompen permitiendo la hidratación esto permite observar un incremento en la viscosidad, como se puede observar en la figura 3 este efecto se empieza a generar alrededor de los 76,83 °C y sucede cerca de los 5:5 minutos. Posterior a este tiempo, la viscosidad seguirá aumentando y al enfriarse y perder humedad se empezará a solidificar (Montoya et al., 2014).

Tabla 3: Características de la harina y el almidón de plátano

Parámetros	Harina	Almidón
temperatura de inicio de gelatinización (°C)	75.11	76.83
tiempo en temperatura de inicio de gelatinización (min)	4.17	5.5
viscosidad máxima (cP)	1132	2068
Temperatura en pico (°C)	89.95	89.95
tiempo en pico (min)	12.47	8.6
Viscosidad mínima (cP)	1114	1783

Fuente: (Montoya, 2014)

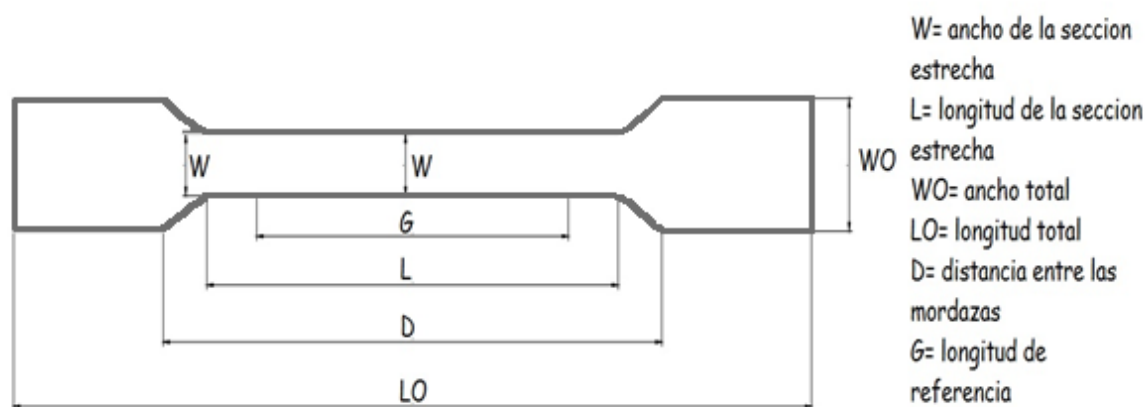
5.9 Ensayo de tracción

Es un ensayo que determina las propiedades tensiles de los plásticos reforzados y no reforzados en probetas con forma de mancuerna estándar, el procedimiento consiste en fijar las probetas en mordazas que están sujetas a la máquina universal de ensayos y empezar a aplicar una carga constante hasta lograr su ruptura, midiendo la longitud final o longitud de quiebre y tomando el valor de la presión aplicada al momento que ocurre la ruptura, de este modo y con estos valores aplicando la fórmula de la resistencia a la tracción la cual divide la carga aplicada sobre el estiramiento final se obtiene el valor de resistencia a la tracción. Funciona como medida de control de calidad para cada material plástico existente, por eso se evalúan los biopolímeros generados bajo la norma técnica colombiana (NTC) 595

la cual da las especificaciones de las dimensiones de la probeta que se debe usar, como se debe realizar el ensayo deseado y como se deben reportar los resultados obtenidos.

En la figura 1 se observa el modelo de probeta tipo mancuerna estandarizado por la norma técnica colombiana (NTC 595) para el ensayo de resistencia a la tracción, con sus respectivos acotados a tener en cuenta para la fabricación de la probeta o el molde que se usó. Esta probeta se puede fabricar en cuatro tipos diferentes en los cuales cada uno cuenta con sus propias medidas específicas y su margen de error no puede ser superior a 3 milímetros.

Figura 1: Modelo de probeta



Fuente: Elaboración propia basado en la norma NTC 595, 2014

En la figura 2 se muestran las diferentes medidas de los tipos de probetas que se pueden fabricar para la realización del ensayo de resistencia a la tracción, en la norma recomiendan el uso de cada tipo dependiendo la cantidad de material con el que se cuente ya que hay unas probetas más grandes que otras o de gran grosor el cual depende del material con el que se esté trabajando, como se puede observar se encuentran los tipos 1, 2, 3, 5 que son la probeta de mancuerna estándar y el tipo de probeta 4 es un tipo diferente.

Figura 2: Tabla de medidas de los tipos de probetas

Dimensiones (véanse dibujos)	7 (0,28) o menos		Mas de 7 hasta 14 (0,28 a 0,55) inclusive	4 (0,16) o menos		Tolerancias
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV ^b	Tipo V ^{c, d}	
W - ancho de la sección estrecha ^{E, F}	13 (0,50)	6 (0,25)	19 (0,75)	6 (0,25)	3,18 (0,125)	$\pm 0,5 (\pm 0,02)^{B,C}$
L - Longitud de la sección estrecha	57 (2,25)	57 (2,25)	57 (2,25)	33 (1,30)	9,53 (0,375)	$\pm 0,5 (\pm 0,02)^C$
WO - ancho total, mín. ^G	19 (0,75)	19 (0,75)	29 (1,13)	19 (0,75)	-	$\pm 6,4 (\pm 0,25)$
WO - ancho total, mín. ^G	-	-	-	-	9,53 (0,375)	$\pm 3,18 (\pm 0,125)$
LO - longitud total, mín. ^H	165 (6,5)	183 (7,2)	246 (9,7)	115 (4,5)	63,5 (2,5)	No mayor (no mayor)
G - longitud de referencia ^I	50 (2,00)	50 (2,00)	50 (2,00)	-	7,62 (0,300)	$\pm 0,25 (\pm 0,010)^C$
G - longitud de referencia ^I	-	-	-	25 (1,00)	-	$\pm 0,13 (\pm 0,005)$
D - distancia entre las mordazas	115 (4,5)	135 (5,3)	115 (4,5)	65 (2,5) ^J	25,4 (1,0)	$\pm 5 (\pm 0,2)$
R - radio de la parte del chaflán*(fillet)	76 (3,00)	76 (3,00)	76 (3,00)	14 (0,56)	12,7 (0,5)	$\pm 1 (\pm 0,04)^C$
RO - radio exterior (Tipo IV)	-	-	-	25 (1,00)	-	$\pm 1 (\pm 0,04)$

Fuente: (NTC 595, 2014)

5.10 Ensayo de resistencia al agua

Debido a la gran variedad de usos que poseen los plásticos es normal que frecuentemente estén en contacto con líquidos lo cual puede llegar a afectar sus propiedades físicas o químicas. Este ensayo se utiliza para evaluar y caracterizar los cambios que sufren los plásticos ya sean físicos o químicos al ser expuestos al contacto prolongado con líquidos, teniendo en cuenta que al tener una mayor absorción al agua su biodegradabilidad en compostaje y en medio natural es mayor. En la norma técnica colombiana (NTC) 1027 no se especifican las dimensiones de las probetas ni tampoco la forma que deben tener, por lo cual se asume que debe ser un cuadrado y solo se especifica la cantidad de líquido en la cual se debe trabajar cada probeta, los diferentes líquidos con los que se puede ensayar y los diferentes plásticos que se pueden evaluar. Al ser un termoplástico se realiza el ensayo con agua y este permite establecer la cantidad que absorbe el biopolímero sintetizado, las proporciones deben ser 8 mL de agua por 1 cm² para la correcta elaboración del ensayo.

6 ANTECEDENTES

Se buscó en la bibliografía un documento que permitiera abordar la primera fase del presente proyecto referente al procedimiento para la obtención del almidón, primero se estudió la purificación de almidón de plátano en diferentes condiciones (cantidad de antioxidante y tiempo de inmersión) tendientes a establecer un óptimo de extracción del almidón. Después de la caracterización y la verificación del almidón producido a través del método húmedo se determinó que a partir de 150 g de cáscara de plátano se obtienen alrededor de 2 g a 3 g de almidón (Hernández-Carmona et al., 2017). En otro trabajo realizado por Hernández lograron una extracción de almidón mayor que oscilaba entre el 16% y el 48% y en el cual resaltan el uso de agentes antioxidantes como el ácido ascórbico para reducir el incremento en la solubilización de la glucosa (Hernández-Carmona et al., 2017).

La síntesis de biopolímeros a partir de almidones ha sido estudiada ampliamente usando diversas fuentes como apio, garbanzo, yuca, batata, papa, maíz, cebada, plátano y otros (Oropeza-Gonzales 2016).

Es importante señalar que la síntesis de biopolímeros a partir de almidones requiere el control y estudio de diferentes aditivos y condiciones de preparación. Por eso en este antecedente puntualmente, han estudiado la influencia de la composición de biopolímeros sintetizados con almidón de yuca para tener en cuenta algunos de estos parámetros de interés en esta investigación y como resultado se obtuvieron estos: La temperatura óptima para trabajar la mezcla de los reactivos (almidón, glicerol, cloruro de sodio) osciló entre 45°C y 60°C en la cual se gelatinizó adecuadamente el almidón, se usó agua como plastificante en proporciones equivalentes a la cantidad de almidón usado debido a que para extraer el agua se debe aumentar la temperatura y esto puede llegar a degradar la estructura del almidón, como lubricantes se recomiendan aceites naturales como el de linaza o el de soya para evitar que se adhiriera a los moldes, las proporciones no deben ser mayores al 15 %, la composición que presentó los mejores resultados en las

pruebas de resistencia fue aquella en donde se mantuvo la temperatura de 180 °C durante 5 minutos adicionándole 131 mL de agua, 60 g de acetato de polivinilo, 6 mL de grasa vegetal, 35 mL de glicerina, 28 g de hidroxietil celulosa y 12 g de cloruro de sodio. De esta forma se obtuvo un biopolímero que presentó una resistencia a la tracción de 3,249 MPa y su incremento en masa fue del 185,6% (Meneses et al., 2007).

Para el caso particular de biopolímeros derivados de almidón de plátano, se encontró un trabajo que obtuvo como resultados los siguientes datos: se sintetizó una película usando almidón al 5% en peso, HCl (0.1N) como agente hidrolizante y glicerol en relación 2:5 (peso seco) como plastificante. Se mantuvo en agitación por 15 min a 95 °C y se adicionó NaOH (0.1N) para frenar el proceso de hidrólisis y mejorar la viscosidad de la solución final. El polímero así obtenido fue secado en horno a 40 °C por 16 h. La tensión de rotura obtenida fue de 5.01 ± 2.06 MPa (Torres, Troncoso, Torres, Díaz & Amaya, 2011)

7 METODOLOGIA

La metodología planteada para la realización del proyecto se dividió en tres fases, la fase uno fue la extracción del almidón de la cáscara y la pulpa del plátano utilizando el método húmedo que se planteó como antecedente, para evaluar el porcentaje de rendimiento de extracción.

En la fase dos se realizó la síntesis de biopolímeros utilizando como antecedente el trabajo (Meneses et al., 2007) pero se realizaron cambios en la composición ya que no se contaban con todos los reactivos mencionados.

La tercera fase comprendió las pruebas para determinar la resistencia a la tracción las cuales se realizaron con una máquina universal de ensayos fabricada por los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander, la cual facilitaron en modo préstamo a la Universidad Libre Socorro para la realización de los experimentos. La prueba de resistencia a la tracción y la prueba de resistencia al agua se realizaron de acuerdo a la Norma Técnica colombiana 595 y 1027 respectivamente.

7.1 Tipo y alcance de la investigación

El tipo de investigación es experimental ya que se realizaron múltiples ensayos de laboratorio para determinar las características físicas del biopolímero obtenido.

7.2 Población y muestra

Población: Diferentes especies de plátano que se cultivan en Colombia: *Dominico*, *Dominico Hartón*, *Cachaco*, *Hartón*, *Pelipita* y su producción total de 4.316.726 toneladas anuales

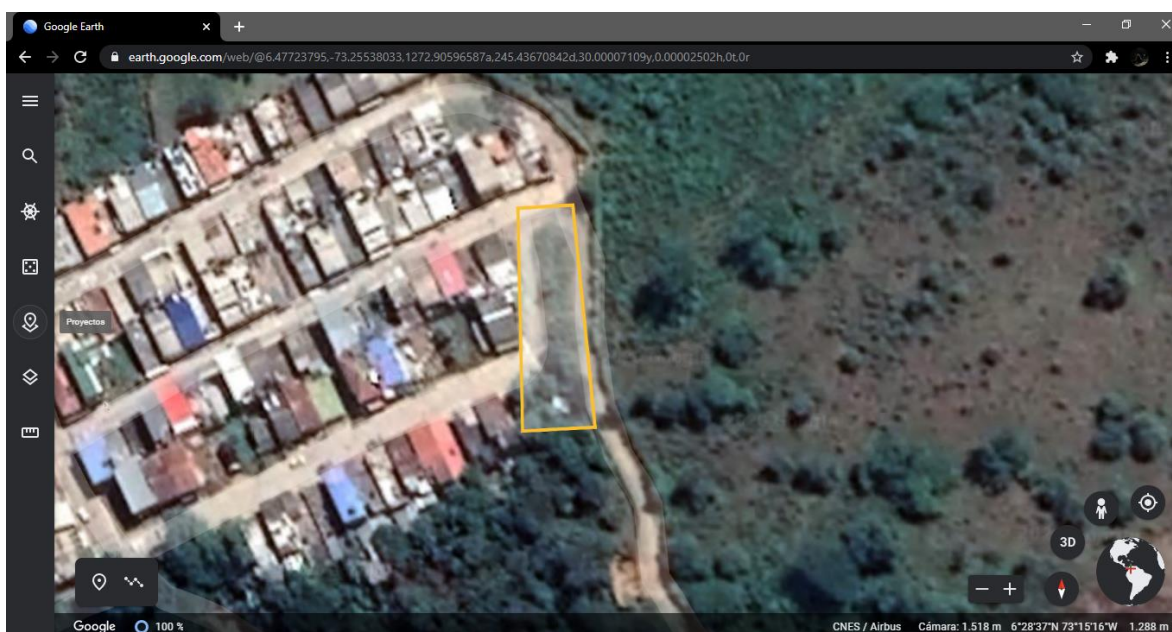
Muestra: Se seleccionó la especie de plátano *Dominico Hartón* para realizar el muestreo no probabilístico ya que puntualmente solo interesa saber la concentración de almidón de esta familia por lo cual se tomó 50 gramos del fruto por cada muestra para realizar la extracción e identificación del porcentaje de rendimiento variando la cantidad de antioxidante para luego replicar la extracción hasta obtener suficiente almidón de plátano para la síntesis de los biopolímeros.

7.3 Localización del proyecto

El proyecto se realizó en la Universidad Libre Seccional Socorro, Campus Majavita en el municipio del Socorro Santander (06°28'06"N y 73°15'37"W) a 120 km de la ciudad de Bucaramanga que es la capital del departamento de Santander, con una elevación de 1362 msnm y una temperatura promedio de 25°C.

En la figura 3 se puede observar el mapa a escala 1:20 la zona de la cual proviene el plátano (06°28'38"N y 73°15'19"W) utilizado para la realización del proyecto, es una pequeña parcela ubicada en el barrio pueblito viejo en el municipio de El Socorro Santander.

Figura 3: Ubicación parcela donde se tomaron los plátanos



Fuente: Google Earth

7.4 Variables seleccionadas

Tal y como se observa en la tabla 4, las variables más importantes que se deben tener en cuenta durante la elaboración del proyecto, el porcentaje de almidón extraído fue el resultado del objetivo número 1, la cantidad de antioxidante usado y la concentración de aditivos brindaron los resultados para el segundo objetivo, ya

que a partir de ahí se determinó cuál es la composición óptima para sintetizar los biopolímeros, la resistencia a la tracción y la resistencia al agua fueron los resultados para el tercer objetivo, que determinaron cuál fue el mejor biopolímero sintetizado y bajo qué condiciones se obtuvo.

Tabla 4: Variables seleccionadas para el desarrollo del proyecto

Tipo	Variable	Unidad
Dependiente	Porcentaje de almidón extraído	Porcentaje de rendimiento (%)
	Tensión aplicada	Libra-fuerza por pulgada cuadrada (PSI)
	Resistencia al agua	Porcentaje de cambio en masa (%)
Independiente	Cantidad de antioxidante usado	Miligramos sobre litros (mg/L)
	Cantidad de aditivos (hidróxido de sodio)	Mililitros (mL)
	Cantidad de almidón utilizado en la síntesis del biopolímero	Gramos (g)

Fuente: Elaboración propia

7.5 Equipos, instrumentos y materiales

Los equipos para la ejecución del proyecto fueron elementos del laboratorio como, balanzas, planchas de calentamiento y hornos, se usaron herramientas ofimáticas para llevar un control de los datos obtenidos y los materiales que se usaron fueron almidón de plátano y algunas sustancias químicas como lo son el hipoclorito de sodio, la glicerina el ácido clorhídrico, y otros.

7.5.1 Equipos:

Máquina universal de ensayos: Es una máquina que se utiliza normalmente para medir la resistencia al estiramiento de diversos materiales, adaptada con un calibrador digital que le permite medir la apertura en milímetros y la presión aplicada en Psi, usando gatos hidráulicos los cuales son capaces de generar una carga para levantar hasta dos toneladas, esta máquina fue calibrada antes de realizar los ensayos.

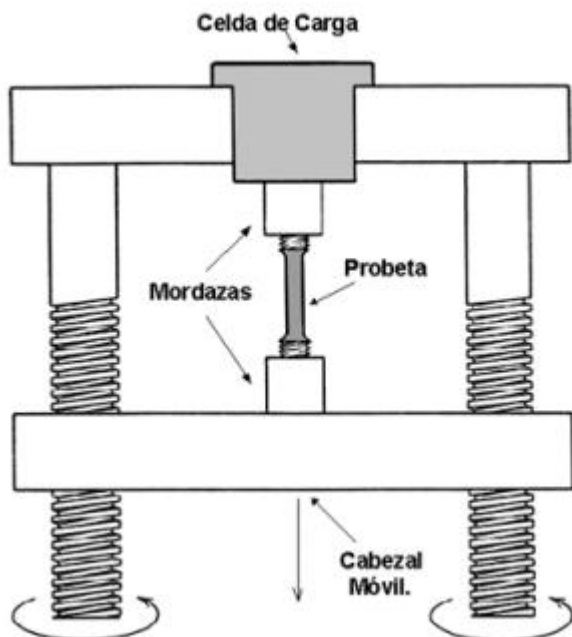
Figura 4: Máquina universal de ensayos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se puede apreciar un modelo en 3D de cómo es la máquina universal de ensayos que se utiliza para realizar este tipo de experimento, se pueden apreciar sus partes detalladas y su funcionamiento empieza con la apertura de la ranura donde se fijan las probetas, continua con la ubicación y fijación de la misma, posterior a esto se enciende el calibrador digital, para iniciar con el bombeo a los gatos hidráulicos que ejercen la presión que la fracturará. Finalizado el ensayo se toman los datos del manómetro y el calibrador para pasar a retirar y ubicar una nueva probeta para replicar el ensayo.

Figura 5: Diagrama mecánico de la máquina universal de ensayos



Fuente: *Modelo máquina universal de ensayos de tracción estática, universidad tecnológica nacional.*

Horno de secado con aire circulante: Es un horno de secado eléctrico convencional marca Caloric, cuenta con una adaptación de tablero digital para seleccionar su temperatura, no cuenta con temporizador, en su interior tiene dos parrillas. La temperatura máxima que alcanza es de 900 °C

Figura 6: Horno de secado eléctrico



Fuente: Elaboración propia

Balanza digital de alta precisión (fija): Esta balanza electrónica de marca Ohaus pioneer analítica px124, está compuesta de un receptor de carga (plato) donde se deposita el material para medir, el cual se encuentra aislado por un cubo de vidrio que evita que el aire o cualquier partícula genere alteraciones en los resultados arrojados, con una precisión de cinco dígitos brinda una alta confiabilidad.

Figura 7: Balanza electrónica de alta precisión



Fuente: Elaboración propia

Plancha de calentamiento: Es un instrumento utilizado en sustitución a los mecheros convencionales, la temperatura máxima que alcanza es alrededor de los 150 °C ya que es un instrumento eléctrico, solo tiene la función de encendido y apagado y no posee control de temperatura por esto se usó un termómetro de infrarrojo para hallar su punto máximo, de igual modo durante los ensayos el agua usada en el baño maría nunca llegó a su punto de ebullición.

Figura 8: Plancha de calentamiento



Fuente: Elaboración propia

Horno de secado: es un horno de secado y calcinación eléctrico marca BINDER, el cual mantiene el aire caliente y no lo re circula, por lo tanto, la humedad se mantiene por mucho más tiempo en este horno, cuenta con un control de temperatura análogo el cual permite subir hasta 500 °C y un temporizador de perilla y su duración máxima es de dos horas. En su interior cuenta con paredes de cerámica que aíslan el calor y posee dos parrillas para disponer de las muestras.

Figura 9: Horno de secado



Fuente: Elaboración propia

7.5.2 Instrumentos:

Los instrumentos utilizados fueron rallador de cocina y medias veladas, también material de laboratorio, como vasos de precipitado, probetas, pipetas, agitadores, termómetros, cajas de petri.

7.5.3 Materiales y reactivos:

Plátano verde (*Dominico Hartón*)

Hipoclorito de Sodio (NaClO)

Agua destilada (H_2O)

Glicerina

Ácido Clorhídrico (HCl)

Hidróxido de Sodio (NaOH)

7.6 Procedimiento

La experimentación, la observación directa, el análisis documental y de contenidos, son las técnicas que se utilizaron para la recolección de información para establecer los datos determinantes en la elaboración del biopolímero. En cuanto a los instrumentos para el almacenamiento de la información, se usaron tablas y matrices diseñadas para la tabulación de los datos.

Objetivo 1: Identificar el porcentaje de rendimiento y pureza de la extracción de almidón de plátano con diferentes cantidades de antioxidante:

Para la extracción del almidón se utilizó el método húmedo, se tomaron 50 g de plátano para cada ensayo realizando un lavado, sumergiéndolo en hipoclorito de sodio durante 30 minutos para realizar la desinfección, posterior a esto se troceó en rodajas cuyo ancho no excedía los 5 mm, después de esto se dejaba en agua con antioxidante durante 30 minutos, por último se realizaba la trituración de las rodajas pero al no tener una máquina tritadora se tenía que realizar el procedimiento manualmente con un rallador de cocina, esto generaba molestias ya que no se conseguía una destrucción completa de las partículas y también generaba heridas al momento de triturar las rodajas de plátano, lo cual retrasaba el proceso de extracción del almidón.

Objetivo 2: Determinar una composición óptima para la fabricación del biopolímero que maximice la resistencia a la tracción y al agua, teniendo en cuenta diferentes cantidades de antioxidante:

Se tomaron cantidades diferentes de almidón que variaban entre 5 g y 7,5 g para comparar los resultados, se agregaron 50 mL de agua destilada, 4 mL de glicerina y 6 mL de ácido clorhídrico y manteniendo agitación constante, posterior a esto se puso en plancha de calentamiento durante 10 minutos controlando la temperatura de transición y el tiempo de transición, para finalizar se agregó hidróxido de sodio para controlar su viscosidad y se sirvió en el recipiente para llevarlo a horno de secado por alrededor de 8 horas a 40 °C.

Objetivo 3: Determinar la resistencia a la tracción y al agua en biopolímeros sintetizados a partir de almidón de plátano:

Se fabricaron probetas con el molde propuesto en la norma para la prueba de resistencia a la tracción utilizando la máquina universal de ensayos según la NTC 595 y para la prueba de resistencia al agua se utilizó la norma NTC 1027, posterior a la realización de los ensayos se tabularon los datos y se presentan los resultados.

7.7 Hipótesis

La variación en las condiciones de extracción de almidón (con antioxidante y sin antioxidante) puede modificar la cantidad de almidón extraído.

Variando la cantidad de hidróxido de sodio y almidón utilizado en la síntesis de bioplásticos puede mejorar las características mecánicas como la resistencia a la tracción y la resistencia al agua de los biopolímeros.

8 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los datos obtenidos durante la elaboración del proyecto son el resultado de múltiples ensayos tanto de la extracción del almidón como en la síntesis de los biopolímeros, también en las pruebas mecánicas realizadas a los bioplásticos obtenidos, y estos datos serán presentados, reportados y analizados a continuación.

De acuerdo con la bibliografía existen dos métodos que fueron ensayados como prueba piloto, buscando maximizar el rendimiento de almidón extraído y establecer todas las condiciones de manejo adecuado del biopolímero (Hernández-Carmona et al., 2017).

En la figura 10 se muestra cómo se inicia el procedimiento, se dejaron los plátanos sumergidos en hipoclorito de sodio concentrado al 10% durante 30 minutos, para realizar una desinfección completa de la cáscara ya que ésta también se usa en el proceso de extracción del almidón.

Figura 10: Plátano Dominico Harton en desinfección



Fuente: Elaboración propia

Para la síntesis del biopolímero se tuvo que determinar cuál era la mejor superficie de secado antes de poder continuar con la identificación de la mejor composición del biopolímero para el cumplimiento de los objetivos restantes, este proceso se realizó a prueba y error ya que en el antecedente que se tuvo en cuenta utilizaban prensas de vulcanización que generaban una película completa del biopolímero sintetizado y la universidad no cuenta con estos aparatos por lo tanto se realizó un secado en muflas y hornos industriales.

8.1 Identificación del método de extracción del almidón

8.1.1 Método seleccionado:

En la figura 11 aparece el resultado del proceso de trituración del plátano el cual se realizó con un rallador de cocina, la variación del color se debe a que uno posea antioxidante y el otro no, este proceso se realizó húmedo para luego realizar el filtrado y extracción del almidón.

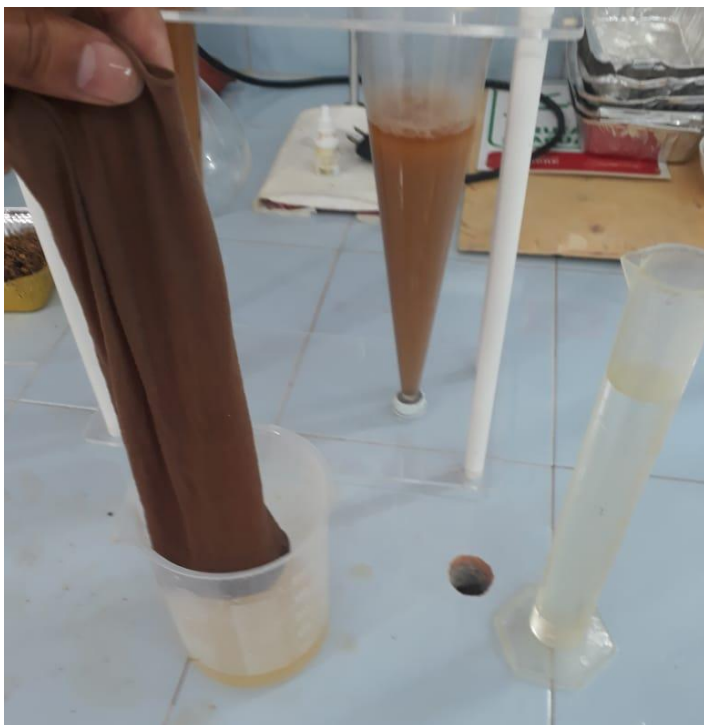
Figura 11: Plátano rallado sin antioxidante y con antioxidante



Fuente: Elaboración propia

Al tener el plátano triturado se usó una media velada como filtro para separar el almidón de la fibra realizando lavado con agua destilada hasta notar que ya no se podía extraer más para después de esto llevar el líquido extraído a conos Imhoff para realizar la decantación del almidón. Durante 24 horas se mantuvo la decantación para luego extraer el agua por la parte superior del cono separándola de su sedimento (figura 12).

Figura 12: Filtración del almidón de plátano



Fuente: Elaboración propia

Finalizando el procedimiento se tomó el sedimento obtenido y se vertió en crisoles o bandejas de aluminio y se llevó al horno de secado donde permaneció por 24 horas a 60 °C hasta notar secado completamente uniforme, posterior a esto en el mismo recipiente se pulverizó, se empacó en bolsas ziploc y se etiquetó finalmente para empezar la síntesis de los biopolímeros (figura 13).

Figura 13: Decantación, pulverización y almidón final empacado



Fuente: Elaboración propia

Después de múltiples ensayos con este método y obteniendo a partir de 100 g de plátano un promedio de 27 g a 30 g, se decidió realizar una unión entre los dos métodos propuestos por Hernández (2017), para facilitar el trabajo utilizando herramientas que la universidad posee, de esta manera el procedimiento fue el siguiente:

Se realizó lavado con agua, desinfección con hipoclorito de sodio, se procedió a trocear en rodajas no mayores a 5 mm, posterior a esto se hizo inmersión en antioxidante (ácido cítrico) manteniendo la misma cantidad de agua y variando la cantidad de antioxidante en 0 % (p/p), 4,9 % (p/p), 9,8 % (p/p) y 14,5 % (p/p) para las muestras 1 a 4 respectivamente, el tiempo de remojo en antioxidante fue el mismo para todas las muestras y se mantuvo en 30 minutos, después de esto se llevaron las 4 muestras a horno de secado durante 24 horas a 90 °C. Pasado el tiempo se tomaron las muestras y se llevaron a un molino de pulverización el cual entregaba el plátano completamente pulverizado de esta manera se optimizó el procedimiento y se redujo el tiempo de trabajo en los laboratorios, posterior a esto se realizó la filtración del almidón usando el método de la media velada el cual fue más óptimo ya que se realizó un filtrado al vacío con bomba para probar si se podía

optimizar aún más la extracción pero el tamaño de partícula era demasiado grande lo cual impedía la separación del agua y el almidón, por último se secó durante 24 horas a 60 °C a continuación se detallarán los resultados obtenidos.

8.2 Resultados extracción de almidón

Para calcular el porcentaje de almidón obtenido de todas las muestras se usaron los valores del peso final o la cantidad de almidón extraído y el peso inicial que eran 50 g de plátano que se usaron por cada ensayo (constante). La fórmula que se utilizó para obtener el porcentaje de rendimiento del almidón fue la siguiente:

Ecuación 1: Fórmula para la obtención del porcentaje de rendimiento de almidón

$$\% \text{ RENDIMIENTO} = \frac{\text{PESO FINAL} * 100\%}{\text{PESO INICIAL}}$$

$$\frac{8,56 \text{ g} * 100}{49,55 \text{ g}} = 17,3\%$$

Ecuación 2: Formula para la obtención del antioxidante en % p/p

$$\% \frac{p}{p} = \left(\frac{\text{g de soluto}}{\text{g totales}} \right) * 100 \quad \left(\frac{2,5}{51,23} \right) * 100 = 4,88$$

En las anteriores ecuaciones se puede observar el resultado obtenido para la muestra (B1) y de este modo aplicando la misma fórmula para las demás muestras, se halló el porcentaje de rendimiento de almidón y la proporción de antioxidante en % p/p para todas las muestras.

En la tabla 5 se puede observar la cantidad de muestras realizadas y las réplicas a la misma para tener una mayor confiabilidad, las cantidades de plátano que se usaron inicialmente y las cantidades de almidón que se logran extraer de cáscara y pulpa. Cabe mencionar que los plátanos usados fueron seleccionados del mismo

racimo y de la misma mano, se puede observar que las muestras con mayor porcentaje de antioxidante fueron las que más humedad perdieron, algo para resaltar es que en las muestras con mayor cantidad de antioxidante hay dispersión en los resultados de porcentaje de almidón extraído, la desviación estándar está en 2 siendo un poco alta para la cantidad de muestras realizadas, en general el promedio de almidón obtenido concuerda con lo reportado por Hernández y colaboradores quienes presentaron un porcentaje de almidón de 20%. Se pueden observar las 4 muestras con sus tres réplicas respectivamente y a partir de ellas se puede decir que las muestras con 4,89 % (p/p) y 14,42% (p/p) tienen el ensayo con los valores más elevados, los cuales sobrepasan los 20 g.

Tabla 5: Resultados extracción de almidón

Muestra	Peso Inicial (g)	% Antioxidante (p/p)	Peso seco (g)	% de humedad	Almidón extraído (g)	% Rendimiento
A1	49,55	0	24,43	50,70	8,56	17,3
A2	50,39	0	26,77	46,87	8,14	16,1
A3	51,27	0	25,21	50,83	9,02	17,6
B1	51,23	4,88	16,57	67,66	9,99	19,5
B2	50,80	4,92	16,39	67,74	9,72	19,1
B3	51,13	4,89	16,68	67,38	10,52	20,6
C1	50,18	9,96	23,49	53,19	9,64	19,2
C2	51,68	9,67	20,83	59,69	9,21	17,8
C3	51,18	9,77	22,71	55,63	9,98	19,5
D1	52,00	14,42	17,00	67,31	11,10	21,3
D2	51,86	14,46	16,83	67,55	10,44	20,1
D3	51,34	14,61	16,38	68,10	7,46	14,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 podemos observar los datos de promedios de cada ensayo y también los promedios totales de la extracción de almidón, se puede apreciar que las

desviaciones estándar por ensayo son bajas por eso los datos presentan una alta confiabilidad ya que se encuentran mayormente agrupados en su media, el promedio total de los resultados obtenidos es de 18,6% con una desviación estándar de 1,95 al igual que antes se puede interpretar que en general los datos no están dispersos, las muestras que ofrecieron un mayor rendimiento fueron aquellas tratadas con 4,90 % (p/p) de antioxidante, mientras que las que tuvieron un menor promedio de extracción fueron las muestras sin antioxidante.

Tabla 6: Promedio de extracción de almidón

Antioxidante (p/p) %	Muestra	Peso inicial	% Rendimiento	Promedio Muestras	Desviación estándar
0	A1	49,55	17,3	17,0	0,759
	A2	50,39	16,1		
	A3	51,27	17,6		
4,90	B1	51,23	19,5	19,7	0,753
	B2	50,80	19,1		
	B3	51,13	20,6		
9,80	C1	50,18	19,2	18,8	0,895
	C2	51,68	17,8		
	C3	51,18	19,5		
14,50	D1	52,00	21,3	18,7	3,634
	D2	51,86	20,1		
	D3	51,34	14,5		
Datos globales			18,6		1,955

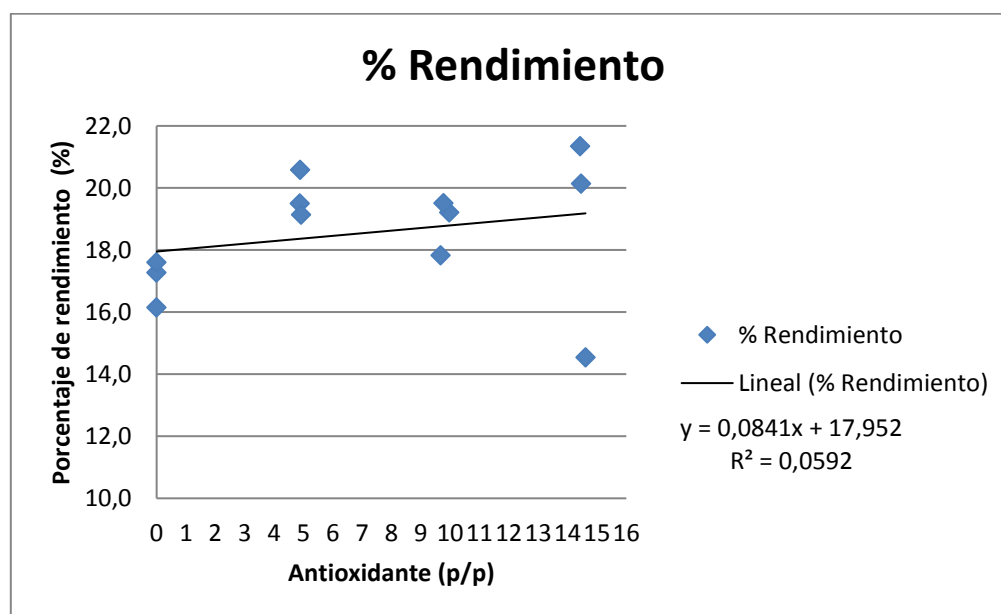
Fuente: Elaboración propia

El análisis de los resultados obtenidos de la extracción del almidón en comparación con anteriores investigaciones muestra resultados favorables ya que según Hernández, et al., (2017) adicionando agentes antioxidantes que reduzcan el incremento en la solubilización de la glucosa se puede conseguir entre un 16% y un 48% de almidón de la cáscara del banano *Musa paradisiaca*, utilizando la misma metodología planteada en esa investigación y aplicándola a la variedad de plátano

Dominico Hartón en el cual se basa esta investigación se obtuvieron resultados del 17% al 20% de rendimiento de almidón extraído, se puede tener en cuenta que se extrajo una menor cantidad de almidón debido a que se trabajó una variedad diferente de plátano, también a que se realizaron algunos cambios en cuanto a la metodología de extracción ya que la universidad no cuenta con los mismos equipos usados en dicha investigación, pero igual el porcentaje obtenido se encuentra entre los límites reportados en la literatura.

En la figura 14 se puede observar el gráfico de porcentaje de rendimiento de almidón extraído promediado según la cantidad de antioxidante usado, se muestra una línea de tendencia positiva lo cual dice que estas dos variables son directamente proporcionales y da a entender que no hay cambios significativos en el porcentaje de almidón obtenido a pesar de los cambios en la cantidad de antioxidante, la correlación de estas dos variables es de 0,2455 siendo un valor alejado de 1 que quiere decir que su afinidad es baja pero que de igual modo si intervienen entre ellas, de igual modo se deja la ecuación de la recta para futuras investigaciones.

Figura 14: Gráfico comparativo entre almidón y antioxidante

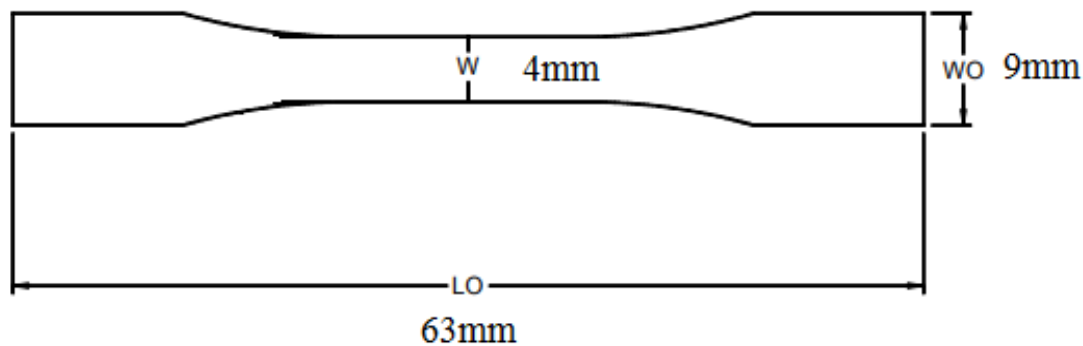


Fuente: Elaboración propia

8.3 Selección de probeta

Para la selección de la probeta a utilizar se utilizó la NTC 595: Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en plásticos, la cual estandariza cómo se debe proceder para realizar una adecuada prueba, qué tipo de probeta se debe usar y como reportar los resultados, en este caso se tomó de la norma la información referente al tipo de probeta y las medidas (figura 15).

Figura 15: Medidas de la probeta utilizada



Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se observa el tipo 5 de probeta, que fue la que se usó con las medidas estandarizadas por la NTC, el margen de error que permite la norma es un desfase de 2 mm, se usó este tipo de probeta pequeña por la cantidad limitada de material, el grosor de la probeta debía ser máximo de 3 mm.

Figura 16: Probeta del biopolímero sintetizado



Fuente: Elaboración propia

8.4 Resultados síntesis biopolímeros

Los datos obtenidos de las variables analizadas durante la investigación y la síntesis de los biopolímeros se muestran en la tabla 7 los demás datos de cantidad de glicerina y su concentración, agua destilada y ácido clorhídrico no se tabularon en la tabla ya que son valores que se mantienen constantes, y se hallaron sus % v/v usando la ecuación (Glicerina 7,14 % (v/v) [50%], 81,75 % (v/v) de agua destilada, 11,11% (v/v) de ácido clorhídrico a 0,1 M):

Tabla 7: Resultados preparación biopolímeros

SÍNTESIS DEL BIOPOLIMERO			Cantidad de almidón (g)	Temperatura de gelatinización (°C)	Tiempo de transición (minutos)	% NaOH (v/v)
Antioxidante (p/p) %	0	Muestra A1	5	66,1	5:17	13,3
		Muestra A2	7,5	69,3	7:24	20,0
		Muestra A3	5	63,6	6:36	6,7
		Muestra A4	7,5	72,1	7:04	20,0
	4,90	Muestra B1	5	73,7	6:11	6,7
		Muestra B2	7,5	68,44	5:23	20,0
		Muestra B3	5	71,4	5:13	13,3
		Muestra B4	7,5	70,3	6:55	20,0
	9,80	Muestra C1	5	72,4	6:28	6,7
		Muestra C2	7,5	69	7:34	13,3
		Muestra C3	5	63,7	5:21	6,7
		Muestra C4	7,5	72,4	6:38	20,0
	14,50	Muestra D1	5	70,3	4:30	13,3
		Muestra D2	7,5	79,6	6:47	26,7
		Muestra D3	5	64,7	6:24	13,3
		Muestra D4	7,5	69,2	6:43	20,0

Fuente: *Elaboración propia*

A partir de estos datos se puede observar un patrón que a mayor concentración de almidón más hidróxido de sodio se necesita para controlar la viscosidad, también se puede observar que las muestras con mayor cantidad de almidón son las que

más tardan en generar una transición a temperaturas más altas, y que a mayor cantidad de antioxidante al momento de sintetizar los biopolímeros se va a producir una mayor viscosidad mientras se está realizando el baño maría.

En la figura 17 se puede ver la imposibilidad de producir películas con grosor parejo debido a que la universidad no cuenta con la maquinaria especializada, generó secado no uniforme y el consecuente cuarteamiento y ruptura de las películas. Esto limitó la obtención de probetas (2 o 3 por muestra) para ensayarlas en la máquina universal.

Figura 17: Extracción de las probetas



Fuente: Elaboración propia

Los tiempos de secado se mantuvieron constantes en 8 horas y se obtuvieron todas las muestras deseadas, los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la tracción y resistencia al agua se muestran a continuación.

8.5 Resultado ensayos de tracción

El valor que se reporta de tensión aplicada es el obtenido directamente del manómetro, por ende, una vez realizado los ensayos se realizó el cambio de unidades ya que este reportó los resultados de presión en PSI y este dato se necesita en kPa, por lo tanto, se utiliza el factor de conversión de unidades como se muestra en la ecuación 2.

Ecuación 3: Fórmula para convertir unidades PSI a kPa para la muestra 1

$$1 \text{ PSI} = 6,8947 \text{ KPa}$$

$$26 \text{ PSI} \times \frac{6,89 \text{ kPa}}{1 \text{ PSI}} = 179,3 \text{ KPa}$$

En la figura 18 se puede observar el manómetro convencional que se usó, el cual solo se encuentra disponible con las unidades en PSI o en bar, y la fórmula de resistencia a la tracción se debe manejar en el sistema internacional de este modo se hace la conversión de unidades a kPa o MPa

Figura 18: Manómetro de la máquina universal de ensayos.



Fuente: Elaboración propia

En la ecuación 3 se muestra la fórmula de resistencia a la tracción que es la misma tensión aplicada la cual se debe tener en cuenta para calcular el resultado final del ensayo. Los datos de deformación o estiramiento fueron obtenidos con el calibrador digital que mide la apertura de las mordazas de la máquina durante el ensayo. La carga aplicada se registró en el manómetro que se encontraba al costado de la máquina universal de ensayos, estos dos datos se aplican a la fórmula para obtener y reportar los resultados.

Ecuación 4: Fórmula de módulo de elasticidad

$$\text{Módulo de elasticidad} = \frac{\text{Resistencia a la traccion } (\sigma[kPa])}{\text{Deformacion } (\varepsilon)}$$

Fuente: Mecánica de estructuras libro 1 Resistencia de materiales, pág. 25 (2001)

Para medir la apertura de la máquina y la longitud que resiste la probeta una vez es ubicada en la prensa se utilizó un calibrador digital de alta precisión el cual reporta las unidades en milímetros y en pulgadas, para utilizar la fórmula de módulo de elasticidad y calcular la deformación unitaria se debe utilizar las unidades de milímetros, teniendo en cuenta que ofrece dos decimales de exactitud.

En la figura 19 se puede observar un ensayo finalizado, donde el calibrador digital está midiendo la longitud final en milímetros y de fondo se puede observar una probeta fracturada.

Figura 19: Calibrador digital funcionando.

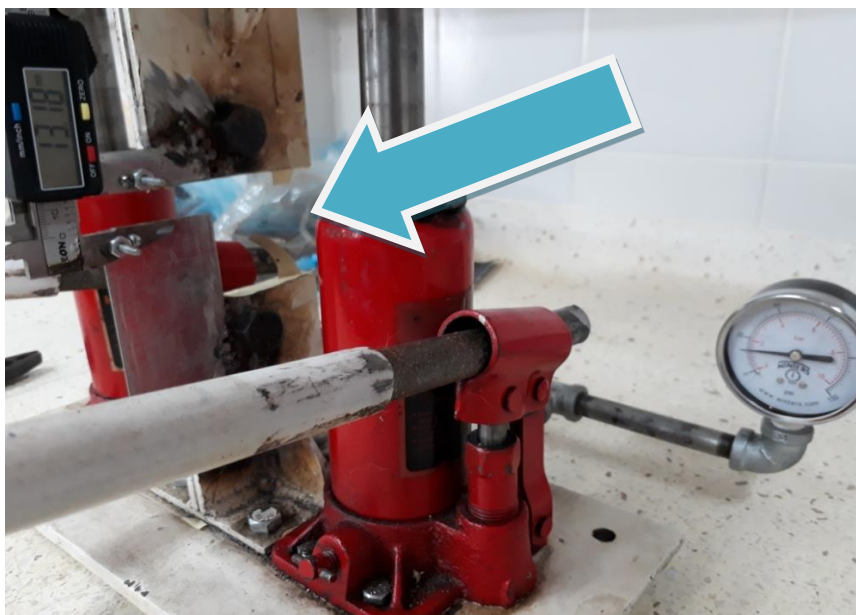


Fuente: Elaboración propia

La deformación unitaria o convencional para la tensión es la diferencia de la longitud final o instantánea y la longitud original o inicial de la probeta. El calibrador digital está adaptado para que la longitud original o inicial sea cero, por tanto, la medida indicada por el calibrador durante la prueba es el gradiente de longitud (Δl) que es la diferencia de las dos longitudes. La deformación convencional o unitaria es la relación entre el Δl y la longitud inicial (entiéndase relación como el cociente), esta deformación es un factor adimensional, por lo tanto, el módulo de elasticidad se reporta en unidades kilopascales (kPa) o megapascalas (MPa).

En la figura 20 se puede observar una probeta fracturada después de realizada la prueba ya que para cada ensayo se realizaban videos y posterior a eso se tomaban los datos para tabularlos. Se observa el gradiente o diferencial de la longitud en el visor del calibrador digital y en el manómetro se puede observar la tensión aplicada la cual posteriormente se convirtió de PSI a kPa.

Figura 20: Ensayo de resistencia a la tracción.



Fuente: Elaboración propia

8.5.1 Resultados ensayo de tracción para la muestra sin antioxidante

Se realizaron diferentes ensayos de tracción para las películas generadas en diferentes condiciones para determinar su resistencia a la tracción y módulo de elasticidad.

Se presentan los resultados en las tablas 8, 9, 10 y 11 los datos asociados a las pruebas mecánicas para cada una de las muestras con diferentes cantidades de antioxidante y almidón y sus respectivos duplicados.

Tabla 8: Resultados ensayo de tracción pruebas sin antioxidante

	Muestra A1	Muestra A2	Muestra A3	Muestra A4
	5 g de almidón	7,5 g de almidón	5 g de almidón	7,5 g de almidón
Espesor de la probeta (mm)	1	1	1	1
Estiramiento (mm)	16,82	11,42	13,47	16,28
Carga aplicada (PSI)	26	20	26	26
Tensión aplicada (kPa)	179,3	137,9	179,3	179,3
Módulo de elasticidad (kPa)	10,6	12,1	13,3	11,0

Fuente: Elaboración propia

8.5.2 Resultados ensayo de tracción para la muestra con 4,9 % (p/p) de antioxidante

Tabla 9: Resultados ensayo de tracción pruebas con 4,9% (p/p) de antioxidante

	Muestra B1	Muestra B2	Muestra B3	Muestra B4
	5 g de almidón	7,5 g de almidón	5 g de almidón	7,5 g de almidón
Espesor de la probeta (mm)	1	2	1	2
Estiramiento (mm)	13,09	9,23	14,33	14,93
Carga aplicada (PSI)	30	24	26	24
Tensión aplicada (kPa)	206,8	165,5	179,3	165,5
Módulo de elasticidad(kPa)	15,8	17,9	12,5	11,1

Fuente: Elaboración propia

8.5.3 Resultados ensayo de tracción para la muestra con 9,8 % (p/p) de antioxidante

Tabla 10: Resultados ensayo de tracción pruebas con 9,8 % (p/p) de antioxidante

	Muestra C1	Muestra C2	Muestra C3	Muestra C4
	5 g de almidón	7,5 g de almidón	5 g de almidón	7,5 g de almidón
Espesor de la probeta (mm)	1	1	1	1
Estiramiento (mm)	13,18	8,76	12,29	11,07
Carga aplicada (PSI)	14	18	24	20
Tensión aplicada (kPa)	96,5	124,1	165,5	137,9
Módulo de elasticidad (kPa)	7,3	14,2	13,5	12,5

Fuente: Elaboración propia

8.5.4 Resultados ensayo de tracción para la muestra con 14,5 % (p/p) de antioxidante

Tabla 11: Resultados ensayo de tracción pruebas con 14,5 % (p/p) de antioxidante

	Muestra D1	Muestra D2	Muestra D3	Muestra D4
	5 g de almidón	7,5 g de almidón	5 g de almidón	7,5 g de almidón
Espesor de la probeta (mm)	1	1	1	2
Estiramiento (mm)	10,93	14,52	11,56	13,63
Carga aplicada (PSI)	26	24	24	28
Carga aplicada (kPa)	179,3	165,5	165,5	193,1
Módulo de elasticidad (kPa)	16,4	11,4	14,3	14,2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se puede realizar una mejor apreciación de los datos ya que se agrupan los resultados de resistencia a la tracción según su método de síntesis, teniendo en cuenta la cantidad de antioxidante y el almidón utilizado para esto, de esta manera se presentan los valores promedio de las réplicas, calculando la desviación estándar para determinar el grado de variación que hay entre ellos, como se puede observar los resultados toman una tendencia directamente proporcional es decir que ascienden con respecto a la cantidad de antioxidante usada, aunque se producen algunas atipicidades como lo son los ensayos con 9,8 % (p/p) de antioxidante los cuales poseen una resistencia a la tracción baja con respecto a los demás ensayos. Con respecto a la cantidad de almidón en cada ensayo no se puede identificar una tendencia ya que en algunas pruebas se puede ver una resistencia a la tracción más alta en las muestras con 5 gramos y en otras se puede observar que las probetas con 7,5 gramos de almidón tienen una mayor resistencia, los que presentaron resultados más bajos fueron las muestras con 9,8 % (p/p) de antioxidante y como se puede observar en la desviación estándar los datos no se encuentran muy dispersos, por ende poseen una alta confiabilidad.

Tabla 12: Promedios totales agrupados según composición.

Promedios totales								
% Antioxidante (p/p)	0		4,90		9,80		14,50	
Cantidad de almidón (g)	5	7,5	5	7,5	5	7,5	5	7,5
Muestras	A1-A3	A2-A4	B1-B3	B2-B4	C1-C3	C2-C4	D1-D3	D2-D4
Tensión aplicada	179,3	158,6	193,1	165,5	131	131	172,4	179,3
Módulo de elasticidad (kPa)	11,98	11,54	14,16	14,51	10,39	13,31	15,36	12,78
Desviación estándar	1,87	0,75	2,33	4,84	4,34	1,21	1,48	1,96

Fuente: Elaboración propia

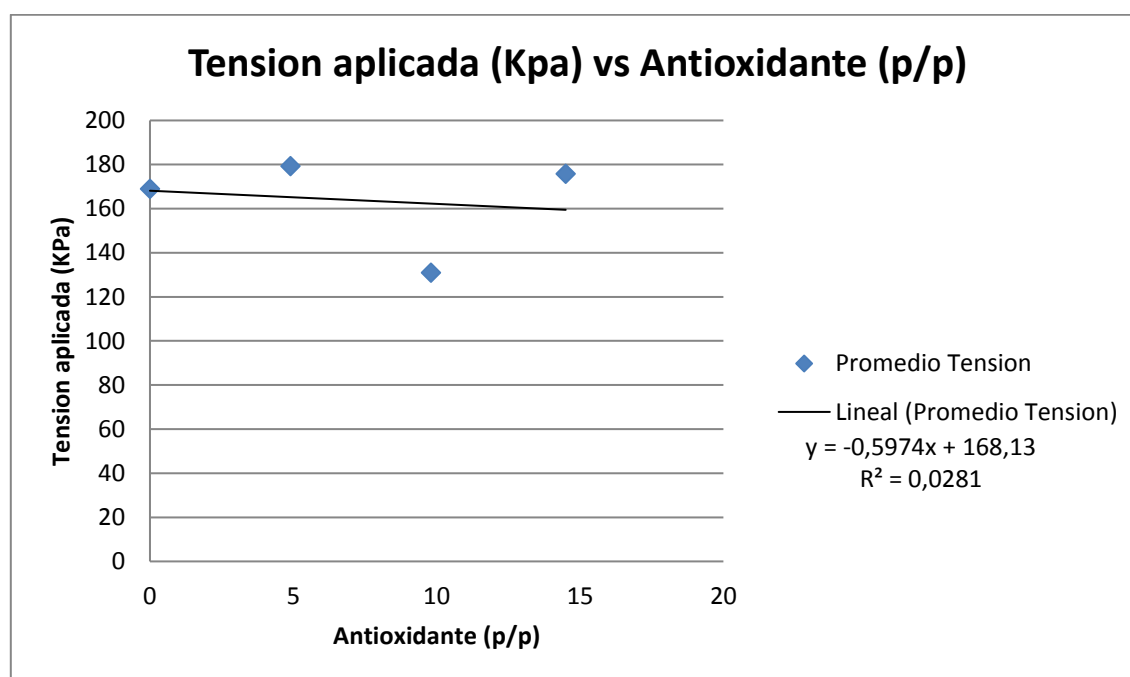
Teniendo en cuenta el parámetro de tensión aplicada o resistencia a la tracción no se observan un patrón ya sea por la cantidad de almidón utilizada al momento de sintetizarlos, la variación en la cantidad de hidróxido de sodio utilizada o algún otro factor interviniente durante el proceso de síntesis, teniendo esto en cuenta se puede reportar que la mejor composición en cuanto a la tensión aplicada fueron las probetas con 5 g de almidón y 4,90 % (p/p) de antioxidante las cuales durante su síntesis alcanzaron su punto de transición a los 6 minutos 11 segundos con una temperatura de 73,7 °C y se tuvo que adicionar 4 mL de hidróxido de sodio para controlar su viscosidad.

Evaluando el módulo de elasticidad como parámetro de interés, los mejores resultados obtenidos en esta investigación fueron de las muestras con 14,50 % (p/p) de antioxidante y 5 g de almidón con un promedio de 15,4 kPa. Se pueden comparar con los obtenidos en la investigación del trabajo de Meneses, et al., (2007) que obtuvieron como resultado la mejor muestra de almidón de yuca que tuvo un módulo de elasticidad de 2,46 MPa. Se puede notar que el valor obtenido en la investigación es muy bajo para la resistencia que ellos obtuvieron, esto puede deberse a la diferencia de almidones o a la diferencia de aditivos utilizados durante el proceso de síntesis, también en el momento de fabricación de las probetas ya que en dicha investigación utilizaban máquinas vulcanizadoras que les facilitaba la creación de estas, en general se puede concluir que al no tener los materiales adecuados para mejorar la calidad del biopolímero y el equipo especializado para hacer las pruebas, se obtienen resultados bajos en comparación con investigaciones anteriores, pero se pueden ir mejorando tomando como referente los errores y aciertos aquí realizados.

En la figura 21 se puede observar el comportamiento que tienen los datos de la tensión aplicada según el porcentaje de antioxidante usado antes de la extracción del almidón, se puede observar una tendencia inversamente proporcional tanto en la gráfica como en su ecuación de la recta, los datos presentan dispersión, su

coeficiente de determinación es de 0.0281 siendo un valor cercano a cero por lo tanto tiene una muy baja relevancia y no se recomendaría replicar dicho modelo (Martínez, E., 2005), algo para tener en cuenta es que la tendencia de estas variables es negativa debido a que las muestras con 5 g de almidón tuvieron una resistencia a la tracción menor a la media la cual es de 163.77 kPa y genera esta tendencia a la baja.

Figura 21: Grafica de tensión aplicada (kPa) – Antioxidante (p/p)

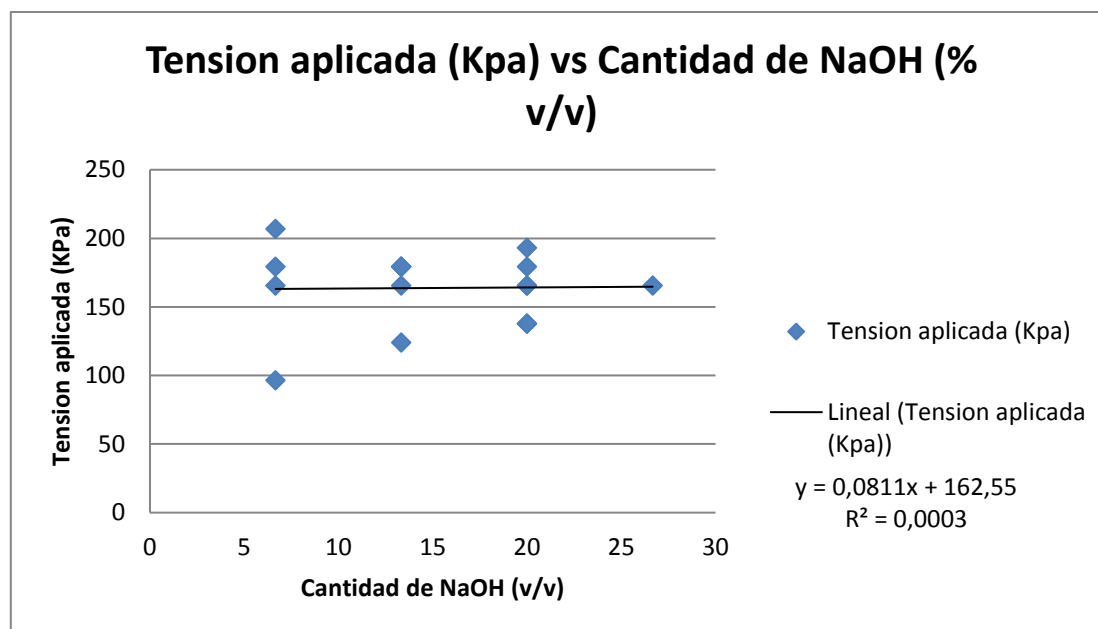


Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se puede observar el grafico de Tensión aplicada contra el porcentaje de Hidróxido de Sodio (NaOH) usada para controlar su viscosidad al momento de servir la muestra para su secado, la ecuación de la recta y la línea de tendencia es positiva aunque su crecimiento es muy bajo y prácticamente imperceptible de igual manera se puede decir que es directamente proporcional, al no tener una correlación significativa se recomienda tener en cuenta el uso de Hidróxido de Sodio

a consideración para disminuir la viscosidad sin temor a llegar a afectar negativamente el biopolímero sintetizado.

Figura 22: Grafica de Tensión aplicada (KPa) – Cantidad de NaOH (% v/v)

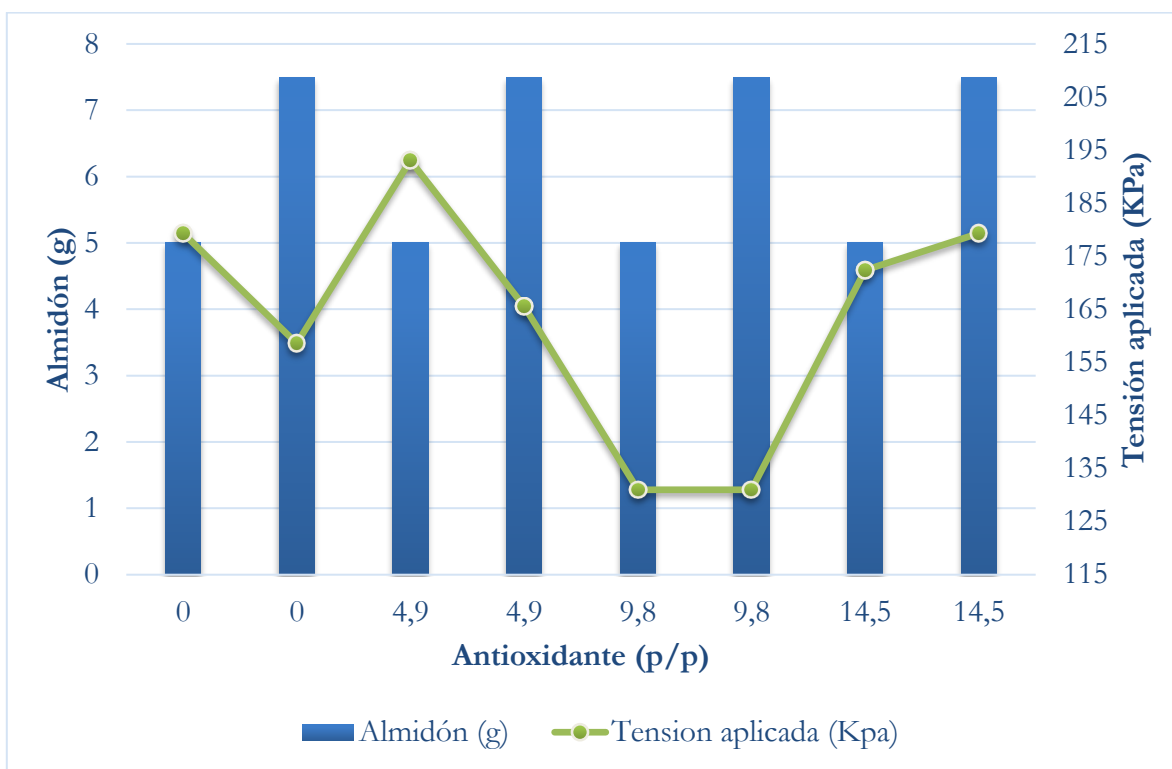


Fuente: Elaboración propia

Para mejorar la resistencia a la tracción se pueden adicionar unos aditivos diferentes con los cuales se consiga tener mejor correlación, pero teniendo en cuenta que estos pueden llegar a aumentar el tiempo de degradación o contaminar cuando el biopolímero se degrade en ambiente natural, se deben generar estudios previos para llegar a aplicarlos.

En la figura 23 se puede observar los datos agrupados de las variables antioxidante y almidón usado en la síntesis de los biopolímeros y los resultados obtenidos después de realizar la prueba de resistencia a la tracción, se puede determinar que el mejor comportamiento encontrado se reporta para la condición de síntesis con 5g de almidón y 4,90 % (p/p) de antioxidante y se hace hincapié en que la condición que posee 14,50 % (p/p) de antioxidante también presenta resultados óptimos en las condiciones del estudio.

Figura 23: Grafica comparativa entre almidón, antioxidante y tensión aplicada



Fuente: Elaboración propia

8.6 RESISTENCIA A LA ABSORCION DE AGUA

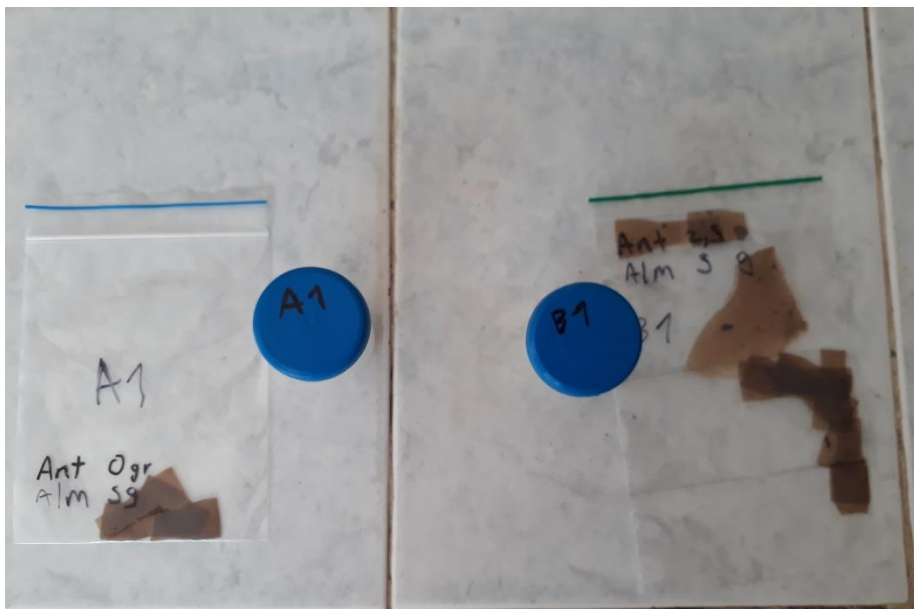
Las pruebas para determinar la resistencia a la absorción de agua se realizaron teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana (NTC) 1027 la cual reglamenta, la cantidad de líquido a usar, el tamaño y forma de la probeta, el tiempo de duración del ensayo y cómo interpretar los resultados obtenidos.

Al no tener una película de biopolímeros completa se trabajó con probetas cuadradas de 1 cm² por lo tanto la cantidad de agua que se utilizó fueron 8 mL, fue un ensayo de corto plazo ya que su duración fue de 24 horas, la temperatura con la que se realizó el experimento fue temperatura ambiente (26 °C), las pruebas se realizaron en frascos de recolección de muestras de orina, el promedio de absorción

de agua que se halló para el ensayo fue de 64.56% y los resultados obtenidos se muestran a continuación.

En la figura 24 se puede observar cómo se realizó el ensayo de resistencia al agua, se tomaron partes de las probetas usadas en la prueba de resistencia a la tracción y se cortaron para que cumplieran la condición de 1 cm^2 , posterior a eso se pusieron en frascos para muestras donde se sumergieron en 8 mL de agua.

Figura 24: Prueba de absorción de agua.



Fuente: Elaboración propia

Después de 24 horas se llevó la muestra a la balanza de precisión para tomar el peso húmedo, luego de esto se procedió a la segunda parte de la prueba la cual consistía en llevar las probetas al horno de secado durante 24 horas a 60°C para después realizar un último pesado y determinar su peso seco, posterior a esto se tabularon todos los datos y se presentaron los siguientes resultados.

En la ecuación 4 se puede observar la fórmula que se debe usar para determinar el porcentaje de cambio en masa esta fue tomada directamente de la NTC 1027, para la cual se debe usar el peso húmedo y el peso inicial y multiplicándolo por cien para que el resultado sea en porcentaje, de igual modo se puede observar que se aplica para la muestra 1A sin antioxidante y con 5 g de almidón obteniendo un incremento en masa del 49,73%

Ecuación 5: Fórmula para determinar el porcentaje de cambio de masa

$$\text{Porcentaje de cambio de masa} = \frac{100 * (\text{PESO HUMEDO} - \text{PESO INICIAL})}{\text{PESO INICIAL}} = \%$$

$$\text{Porcentaje de cambio de masa} = \frac{100 * (0.0834 \text{ g} - 0.0557 \text{ g})}{0.0557 \text{ g}} = 49,737 \%$$

Fuente: NTC 1027 (1997)

En la figura 25 se pueden observar las probetas en su fase final listas para ser llevadas al horno de secado por 24 horas en las cajas de Petri, algunas presentaron el problema de que al secarse sobre el vidrio se quedaban adheridas y se dañaban al tratar de separarlas y este ensayo se tenía que replicar hasta que se desprendieran sin sufrir pérdidas ya que esto podría generar datos erróneos en la balanza.

Figura 25: Probetas listas para fase de secado



Fuente: Elaboración propia

Se realizaron diferentes ensayos de resistencia a la absorción de agua a las probetas generadas para dicha prueba.

En las tablas 13, 14, 15 y 16 se presentan los datos asociados a las pruebas de absorción de agua y cambio en masa para cada una de las muestras con diferentes cantidades de antioxidante y almidón y sus respectivos duplicados

8.6.1 Resultados prueba de resistencia a la absorción de agua para la muestra sin antioxidante

Tabla 13: Resultados prueba de absorción de agua muestras sin antioxidante

	Muestra A1	Muestra A2	Muestra A3	Muestra A4
	5 g de almidón	7,5 g de almidón	5 g de almidón	7,5 g de almidón
Peso inicial (g)	0,0557	0,1032	0,0543	0,0864
Peso húmedo (g)	0,0834	0,1547	0,0918	0,1327
Peso seco (g)	0,027	0,0475	0,0198	0,0421
Porcentaje de cambio en masa (%)	49,7	49,9	69,1	53,6

Fuente: Elaboración propia

8.6.2 Resultados prueba de resistencia a la absorción de agua para la muestra con 4,9 % (p/p) de antioxidante

Tabla 14: Resultados prueba de absorción de agua muestras con 4,9 % (p/p) de antioxidante

	Muestra B1	Muestra B2	Muestra B3	Muestra B4
	5 g de almidón	7,5 g de almidón	5 g de almidón	7,5 g de almidón
Peso inicial (g)	0,0491	0,1045	0,0423	0,0673

Peso húmedo (g)	0,0929	0,1724	0,0875	0,1073
Peso seco (g)	0,0288	0,0421	0,0236	0,0367
Porcentaje de cambio en masa (%)	89,2	65,0	106,9	59,4

Fuente: Elaboración propia

8.6.3 Resultados prueba de resistencia a la absorción de agua para la muestra con 9,8 % (p/p) de antioxidante

Tabla 15: Resultados prueba de absorción de agua muestras con 9,8 % (p/p) de antioxidante

	Muestra C1	Muestra C2	Muestra C3	Muestra C4
	5 g de almidón	7,5 g de almidón	5 g de almidón	7,5 g de almidón
Peso inicial (g)	0,0476	0,0835	0,0412	0,0786
Peso húmedo (g)	0,0873	0,1145	0,0793	0,1078
Peso seco (g)	0,0176	0,0385	0,0192	0,0364
Porcentaje de cambio en masa (%)	83,4	37,1	92,5	37,2

Fuente: Elaboración propia

8.6.4 Resultados prueba de resistencia a la absorción de agua para la muestra con 14,5 % (p/p) de antioxidante.

Tabla 16: Resultado prueba de absorción de agua muestras con 14,5 % (p/p) de antioxidante

	Muestra D1	Muestra D2	Muestra D3	Muestra D4
	5 g de almidón	7,5 g de almidón	5 g de almidón	7,5 g de almidón
Peso inicial (g)	0,0437	0,0968	0,0412	0,0898

Peso húmedo (g)	0,0724	0,1347	0,0836	0,1189
Peso seco (g)	0,0243	0,0314	0,0141	0,0339
Porcentaje de cambio en masa (%)	65,7	39,2	102,9	32,4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17 se puede observar un resumen general de todos los ensayos realizados para determinar la absorción de agua de los biopolímeros sintetizados, ordenados y clasificados según el porcentaje de antioxidante y la cantidad de almidón que se usó en cada uno, teniendo esta información se puede determinar la tendencia de que las muestras con 5 g de almidón suelen absorber una mayor cantidad de agua, lo que genera un incremento en el cambio de masa mucho mayor que las muestras con 7,5 g de almidón, por otro lado no se puede determinar algún tipo de tendencia que tenga que ver con el porcentaje de antioxidante usado. Las muestras que tuvieron una mayor absorción de agua fueron las que se sintetizaron con 4,9 % (p/p) de antioxidante y 5 g de almidón las cuales se deben tener en cuenta ya que un biopolímero que tenga una alta absorción reduce y limita sus posibles usos. Por otro lado, los biopolímeros con 9,8 % (p/p) de antioxidante y 7,5 g de almidón tienen una baja absorción y esto es lo que se busca ya que teniendo en cuenta la literatura a menor absorción de agua menor biodegradabilidad y esto permite darle mayores usos al biopolímero sintetizado, la desviación estándar para cada agrupación de datos varía demasiado desde unas muy bajas hasta unas considerablemente altas, por lo que se recomienda mayor cantidad de repeticiones para posteriores análisis.

Tabla 17: Promedios totales de las pruebas de resistencia al agua

Promedios totales								
Antioxidante % (p/p)	0		4,90		9,80		14,50	
Cantidad de almidón	5	7,5	5	7,5	5	7,5	5	7,5
Muestras	A1-A3	A2-A4	B1-B3	B2-B4	C1-C3	C2-C4	D1-D3	D2-D4

Promedio porcentaje cambio en masa	59,4	51,7	98,0	62,2	87,9	37,1	84,3	35,8
Desviación estándar	13,67	2,61	12,48	3,92	6,42	0,02	26,33	4,77

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados de absorción de agua muestran una característica que permite identificar que los biopolímeros con menor cantidad de almidón tienden a tener una mayor absorción de agua, la probeta con 7,5 g de almidón, al momento de la síntesis alcanzó el punto de transición a los 6 minutos 43 segundos con una temperatura de 69,2 °C y se tuvo que adicionar 20 % (v/v) de hidróxido de sodio para controlar su viscosidad.

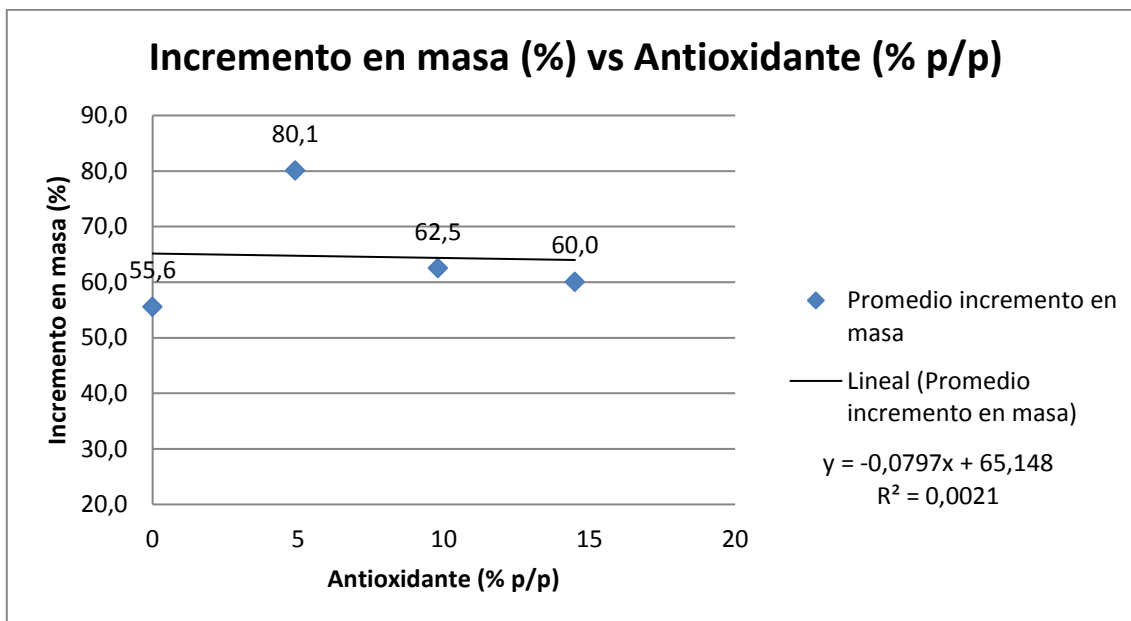
La resistencia al agua de los biopolímeros fue baja ya que 12 muestras tienen una absorción de agua mayor al 50% lo que reduce los campos de aplicación a los que pueden ser llevados, también se pudo notar que los polímeros con mayor absorción de agua tuvieron crecimiento de microorganismos en un menor tiempo comparado con las muestras que tuvieron una menor absorción. Por otro lado, están las otras 4 probetas que tienen absorción de agua menor al 40%, estas muestras pueden ser replicadas para buscar diferentes usos, pero se debe mejorar su resistencia a la tracción antes de que esto suceda.

En la figura 26 se puede observar el gráfico de incremento en masa del biopolímero sintetizado contra la cantidad de antioxidante usada en el proceso de extracción del almidón, se puede observar la línea de tendencia que decrece muy poco lo cual da a entender que son inversamente proporcionales y esto se puede confirmar gracias a su ecuación de la recta la cual es negativa, con un coeficiente de determinación muy bajo (0.0021) que indica que el modelo lineal planteado podrá predecir futuras determinaciones con poca certeza.

Se puede llegar a concluir que la cantidad de antioxidante usada para la extracción del almidón es relevante en cuanto al incremento en masa que tiene el biopolímero

sintetizado, por ende, se puede enfocar una futura investigación en buscar correlaciones con mayor interacción.

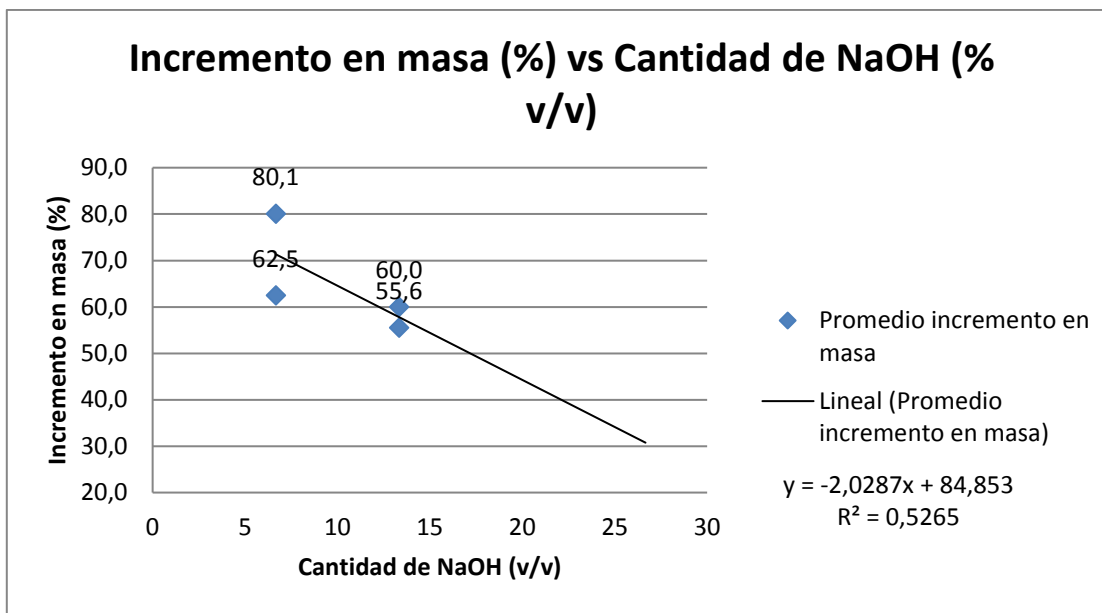
Figura 26: Grafico de incremento en masa (%) – Antioxidante (% p/p)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se puede observar el gráfico de incremento en masa del biopolímero sintetizado contra el porcentaje de hidróxido de sodio (NaOH) utilizado para controlar su viscosidad al momento de servir la muestra en el molde, su línea de tendencia decrece lo cual permite reconocer una relación inversamente proporcional ya que a medida que se le adiciona una mayor cantidad de hidróxido de sodio tiene una menor absorción de agua como se puede apreciar en la gráfica, su coeficiente de determinación es de 0.5265 lo cual da a entender una alta representatividad de las variaciones en los datos ya que posee dispersión moderada también se puede decir que su correlación es baja pero estas variables si intervienen la una con la otra por lo tanto a mayor cantidad de NaOH para controlar la viscosidad de la muestra se use antes de servirla, esta tendrá un menor incremento en masa .

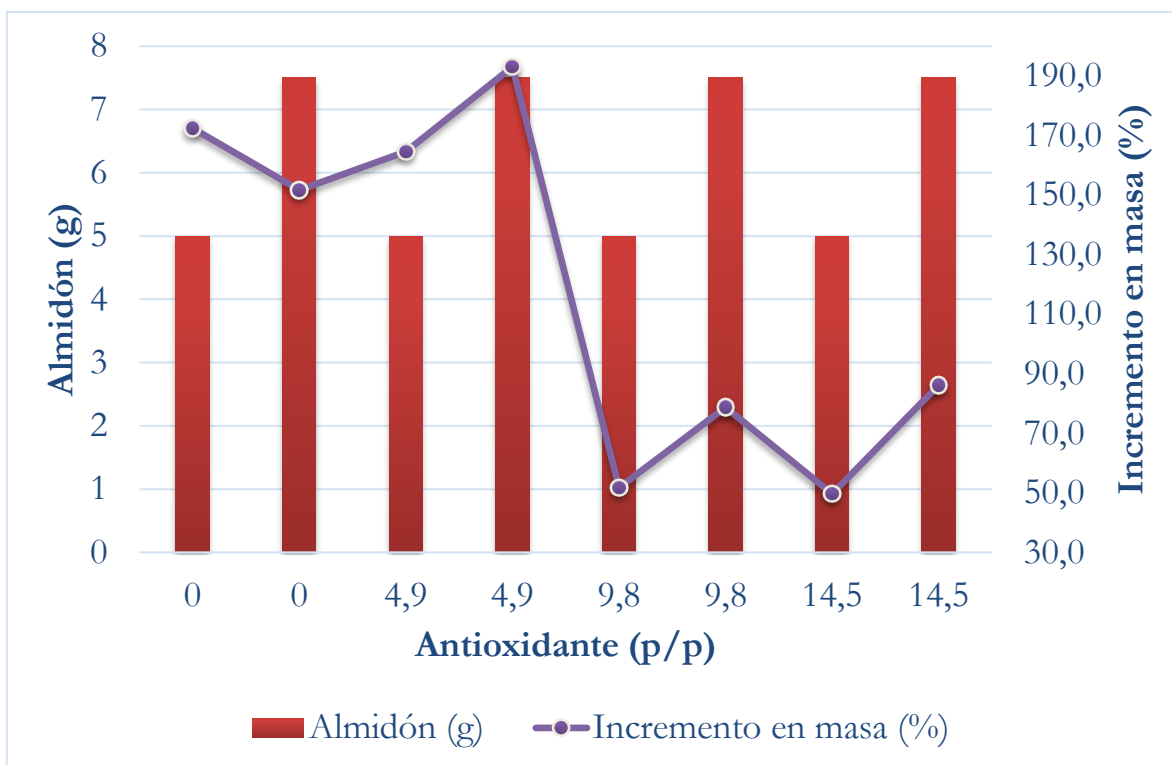
Figura 27: Grafico de incremento en masa (%) – Cantidad de NaOH (% v/v)



Fuente: Elaboración propia

En la figura 28 se pueden observar los datos agrupados de las variables de almidón y antioxidante utilizados en la síntesis de los biopolímeros y los resultados obtenidos de la prueba de resistencia a la absorción de agua. Se presentan los datos en porcentaje, las muestras con 7,5 g de almidón tienden a ser más impermeables ya que sus valores de absorción son bajos comparados con las muestras de 5 g de almidón, como se puede observar en la gráfica los valores más bajos se obtuvieron con las cantidades de antioxidante más altas, lo cual genera una idea de que a menor sea el grado de oxidación del plátano menor permeabilidad va a tener el biopolímero obtenido a partir de él, generando así una mayor cantidad de usos posibles para un bioplástico producido de esta materia prima.

Figura 28: Grafico comparativo entre Almidón, Antioxidante e incremento en masa



Fuente: Elaboración propia

8.7. Análisis de correlación

Se plantea un análisis de correlación de tipo Pearson entre la variable independiente cantidad de antioxidante y las variables dependientes tensión aplicada, módulo de elasticidad y cambio en masa y posterior a esto se realiza el mismo análisis entre las variables dependientes para identificar si existe correlación entre sus respuestas. Para determinar esto se debe tener en cuenta que entre más cercano este el valor a 1 o -1 más fuerte será la misma independientemente del orden en que se encuentren o que se comparen entre ellas solo variables dependientes (Rodrigo, 2016).

Los datos de las correlaciones se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 18: Promedios resultados obtenidos según cantidad de almidón

Cantidad de almidón	Tensión aplicada	Módulo de elasticidad	Cambio en masa
5	168.9	13.0	63.0
7.5	158.6	13.0	46.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Correlación según la cantidad de almidón

Coeficiente de correlación	r
Cant. Almidón- Tensión aplicada	-1
Cant. Almidón-Modulo de elasticidad	1
Cant. Almidón-Cambio en masa	-1

Fuente: Elaboración propia

La correlación que presentan los datos de cantidad de almidón con la tensión aplicada, el módulo de elasticidad y el cambio en masa da 1 y -1 porque estos datos solo se evaluaron en dos niveles por lo tanto no cuentan con alguna dispersión que haga que sus valores tengan cambios y se genera una línea recta. Es por ello que se recomienda evaluar mayores niveles de la variable independiente Cantidad de almidón que permitan hacer mejores correlaciones.

Tabla 20: Promedio resultados según cantidad de antioxidante

Antioxidante	Tensión aplicada (kPa)	Módulo de elasticidad	Cambio en masa (%)
0	169	11.7	55.6

2.5	179.3	14.4	80.1
5	130.9	11.9	62.5
7.5	175.9	14.1	60.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: Correlación según la cantidad de antioxidante

Coeficiente de correlación	r	Pearson entre variables dependientes
Antioxidante-Tensión aplicada	-0.160	Tensión aplicada Vs Módulo de elasticidad: 0.676
Antioxidante-Modulo de elasticidad	0.427	Módulo elasticidad Vs. Cambio en masa: 0.669
Antioxidante-Cambio en masa	-0.050	Tensión aplicada Vs. Cambio en masa: 0.286

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos en la correlación planteada entre el antioxidante la tensión aplicada y el cambio en masa, igual que en las tablas anteriores tienen valores muy bajos y negativos, por eso el valor más importante para la investigación es la correlación entre el antioxidante y el módulo de elasticidad, tiene gran relevancia por ser directamente proporcional y su fundamento teórico se basa en la literatura.

El ácido critico es un agente antioxidante y de entrecruzamiento orgánico utilizado ampliamente en la industria agroalimentaria, gracias a la presencia de grupos

carboxilos en su estructura puede formar puentes de hidrogeno con los grupos hidroxilos de las moléculas de almidón previniendo la recristalización y retrogradación. Además, la acidez promueve la disolución de los gránulos de almidón y junto al glicerol provocan la disrupción de los puentes de hidrogeno inter- e intra-moleculares mejorando la plastificación del almidón, por esto se puede concluir que la adición de ácido critico da lugar a mejoramiento del módulo de elasticidad por el entrecruzamiento de sus cadenas (Ortega-Toro, Jiménez, Talens, & Chiralt, 2014).

Con respecto a la correlación entre variables dependientes se resalta la relación directamente proporcional entre todas las variables analizadas. Teniendo en cuenta que el módulo de elasticidad es la pendiente de la curva Tensión-deformación cuyo punto máximo es la tensión aplicada, se entiende que sean directamente proporcionales como se puede observar en la ecuación 3. De otro lado, la relación entre el módulo de elasticidad y el cambio en masa representa una correlación directamente proporcional que implica que mejores desempeños mecánicos del material también reportan un mejor desempeño en la resistencia al agua.

8.8. Generalizaciones

El uso de ácido cítrico como antioxidante genera una tendencia directamente proporcional ya que se puede observar que las muestras de 50 g de plátano cortado en rodajas menores de 5 mm sumergidas en agua destilada con 7,5 g de ácido cítrico extraen una mayor cantidad de almidón de plátano esto se puede deber a que el ácido cítrico afecta la enzima polifenoloxidasas (PPO) la cual provoca el pardeamiento en las frutas y vegetales, ya que al entrar en contacto con el oxígeno molecular producen quinonas a partir de los fenoles los cuales generan una acelerada degradación en la calidad del plátano, de igual modo se forman melaninas y producen una coloración las cuales pueden reaccionar con las proteínas reduciendo la solubilización de los compuestos del plátano. De este modo el ácido

cítrico con su fórmula química $C_6H_8O_7$, actúa bajando el pH del alimento, lo que afecta la enzima polifenoloxidasas, ya que con un pH menor a 4.5 se detecta poca actividad por parte de esta e incluso se puede llegar hasta una inactivación irreversible de la misma (Peña, C; 2009).

Como se puede observar en la figura 22 el hidróxido de sodio y la tensión aplicada tienen una baja correlación y estas dos variables no intervienen entre ellas significativamente, mientras que en el grafico 27 se puede observar que a mayor cantidad de NaOH menor absorción de agua como se puede observar en una réplica que contenía 20 % (v/v) de hidróxido de sodio tuvo la menor absorción de agua de todos los ensayos con un valor de 32,4% en su incremento en masa, y esto se debe a que el hidróxido de sodio es un aditivo plastificante que se usa frecuentemente en la síntesis de polímeros derivados del petróleo y biopolímeros, este se añade para controlar su viscosidad pero puede llegar a modificar su módulo de elasticidad, temperatura de transición vítrea y su permeabilidad (Calvo, F., Isaac, J. 2012).

9 CONCLUSIONES

Para realizar la extracción del almidón se tomaron 50 g plátano se hicieron muestras por triplicado con diferentes cantidades de antioxidante los resultados obtenidos fueron los siguientes: para la muestra sin antioxidante el promedio de almidón extraído fue de 8,6 g y su porcentaje de rendimiento de 17%, para la prueba con 2,5 g la media de almidón fue de 10,1 g y el porcentaje de rendimiento 19,7%, para el ensayo con 5 g el promedio extraído fue de 9,6 g y el porcentaje de rendimiento de 18,8%, y por último la muestra con 7,5 g se extrajo en promedio 9,7 g de almidón y su porcentaje de rendimiento fue de 18,7%.

La mejor composición hallada y que se recomienda replicar para sintetizar biopolímeros fue de 9,8 % (p/p) de antioxidante, 69,4 % (v/v) de agua, 8,3 % (v/v) de ácido clorhídrico concentrado al 0,1 N, 5,5 % (v/v) de glicerina diluida al 50%, realizando baño maría por 10 minutos a 68°C, después de esto adicionar 16,6% (v/v) de hidróxido de sodio al 0,1 N, aunque este último aditivo es variable dependiendo la viscosidad que presente la muestra sintetizada.

Se pudo determinar la resistencia a la tracción y la resistencia al agua que presentan los biopolímeros sintetizados. La muestra con 7,5 gramos de almidón y 7,5 gramos de antioxidante tuvo una resistencia a la tracción de 179,3KPa, módulo de elasticidad de 12,78KPa y un 32,41% de incremento en masa siendo la mejor composición evaluada en términos de las propiedades finales medidas.

10 RECOMENDACIONES

Para optimizar el proceso de extracción del almidón se recomienda la búsqueda e implementación de un filtro que realice un lavado constante y que a su vez separe completamente el almidón de la fibra ya que se puede llegar a conseguir una mayor cantidad realizando un mejor procedimiento.

Para mejorar las características del biopolímero sintetizado se recomienda buscar otro tipo de aditivos que ayuden en este procedimiento.

Se puede mejorar el proceso de secado utilizando bandejas metálicas antiadherentes, pero se debe tener en cuenta los cambios en los tiempos de secado ya que este material conduce el calor de una manera más rápida lo cual puede llegar a dañar el biopolímero sintetizado.

Se puede llegar a reducir el color oscuro del biopolímero sintetizado a partir del almidón de plátano con aditivos, pero se debe tener en cuenta que se puede alterar la formula, por esto se recomienda que al continuar la investigación se tenga cuidado con esto.

11 BIBLIOGRAFIA

Afanador, A. M. (2005). EL BANANO VERDE DE RECHAZO EN LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL CARBURANTE. In *Revista EIA*. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372005000100005&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Alarcón, H., y Arroyo, E. (2016) Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa.

BANATURA. Programa de gestión social y ambiental del sector bananero colombiano. Medellín: Augura y Sena, 2003. 66 p.

Calvo Rebollar, M (2003). Bioquímica de los alimentos.

Calvo, F., Isaac, J. (2012) Introducción a la química de los polímeros biodegradables: una experiencia para alumnos de segundo ciclo de la ESO y Bachillerato

Cámara de comercio Bucaramanga, (2013) Sector agrícola Santander.

Castellanos Galeano, F. J., Carlos, J., & Aguirre, L. (2011). *Caracterización física del fruto en variedades de plátano cultivadas en la zona cafetera de Colombia*
Physical characterization of the fruit of plantain varieties cropping in the coffee region of Colombia.

Cerrón, F (2017). Seminario gelatinización y retrogradación.

Correlación lineal y Regresión lineal simple by Joaquín Amat Rodrigo, available under a Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) at https://www.cienciadedatos.net//documentos/24_correlacion_y_regresion_lineal

Dussán-Sarria, S., Gaona-Acevedo, A. F., & Hleap-Zapata, J. I. (2017). Efecto del Uso de Antioxidantes en Plátano Verde Dominico-Hartón (Musa AAB Simmonds) Cortado en Rodajas. *Información Tecnológica*, 28(4), 03–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400002>

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Glynn J., Gary A., Heinke, (1999). Ingeniería Ambiental quinta edición, Fernández A. Sánchez M 2007. Guía para la gestión integral de residuos sólidos.

Gomez, M., Gil, J., (1997). Los plásticos y el tratamiento de sus residuos

Gutiérrez, L., Arias, S., Garzón, D., López, D., y Osorio, A. (2014) Transición vítrea en alimentos: sistemas binarios agua-carbohidratos.

Hernández-Carmona, F., Morales-Matos, Y., Lambis-Miranda, H., & Pasqualino, J. (2017). Starch extraction potential from plantain peel wastes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(5), 4980–4985. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.034>

Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., ... Reisser, J. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>

López Rubio, A. (2015). Biopolímeros: los plásticos del futuro.

Mal uso de polímeros puede afectar el medio ambiente, (20 de mayo de 2013). El universal.

Martínez, E., (2005) Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. Anuario Jurídico y Económico Escurialense.

Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). *SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA*.

Ministerio de agricultura. (2016). Producción de plátano en Colombia.

Mosquera, L., Arias, S., Jimenez, D., Lopez, D., & Osorio, A. (2015). Transición vítrea en alimentos: sistemas binarios agua-carbohidratos. *Revista Vector*, 9(2014), 24. Retrieved from http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector9_4.pdf

Montoya, J., Quintero, V. D., & Lucas, J. C. (2014). Evaluación fisicotérmica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (musa paradisiaca abb). *Temas Agrarios*, 19(2), 214. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.736>

Ortega-Toro, R., Jiménez, A., Talens, P., & Chiralt, A. (2014). Films de almidón termoplástico. influencia de la incorporación de hidroxipropil-metil-celulosa y ácido cítrico

Peña, C. (2009). Evaluación de tres combinaciones de antioxidantes en puré de banano y su efecto en las propiedades físico-químicas y sensoriales en yogur del mismo sabor

Redacción nacional, (8 de febrero 2018). En Colombia se usan 2 millones 714 mil bolsas plásticas al día. El espectador.

Ruiz G (2005). Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca. Magíster en Ingeniería de Procesamiento de Polímeros. Universidad EAFIT. Medellín Colombia.

Torres, Fernando & Troncoso Heros, Omar & Torres, C & Díaz, D.A. & Amaya, E. (2011). Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International journal of biological macromolecules*. 48. 603-6. 10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026.

Upv.es. 2020. Unidad 15. Materiales Poliméricos Y Compuestos. [online] Disponible en: <https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html> [Acceso: 12 Marzo 2020].

Universitat politècnica de valencia. Curso de fundamentos de ciencia de materiales.

Valero-Valdivieso, M. F., Ortigón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y perspectivas. *DYNA (Colombia)*, 80(181), 171–180.

Villada, H. S., & Acosta, H. A. (2011). Investigación de Almidones Termoplásticos , Precursores de Productos Biodegradables Research on Thermoplastic Starches , Biodegradable Products Precursors. *Informacion Tecnologica*, 19(2), 3–14.